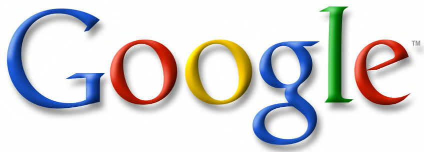
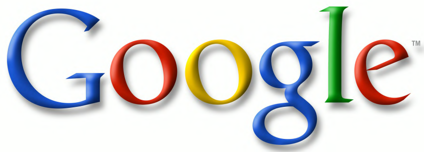
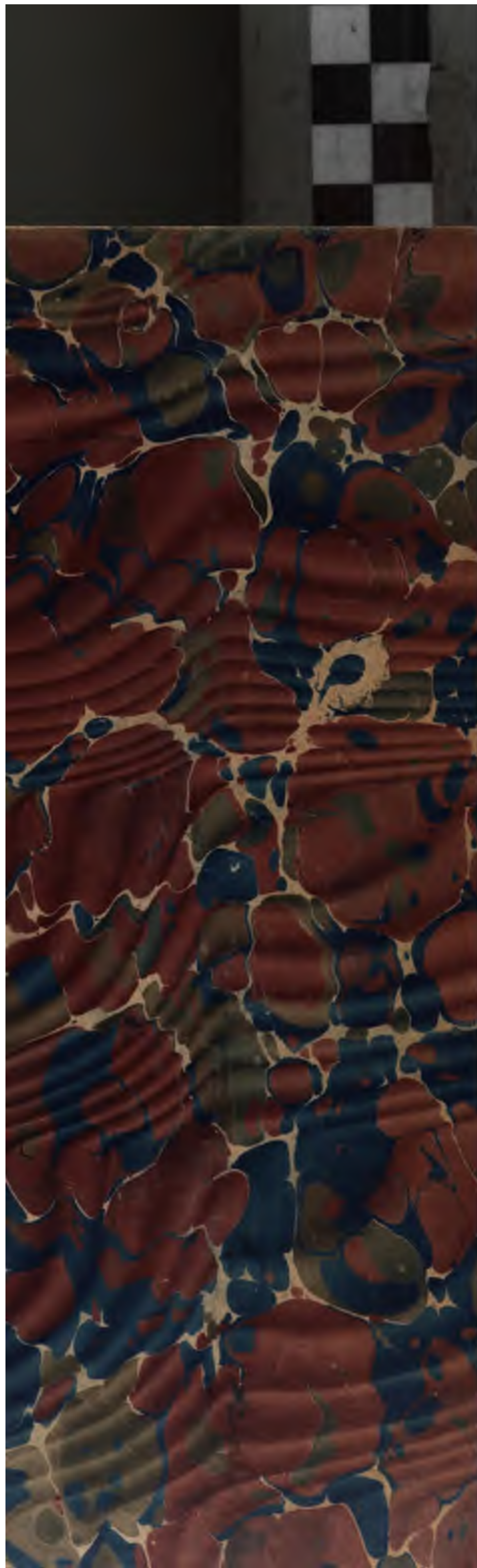
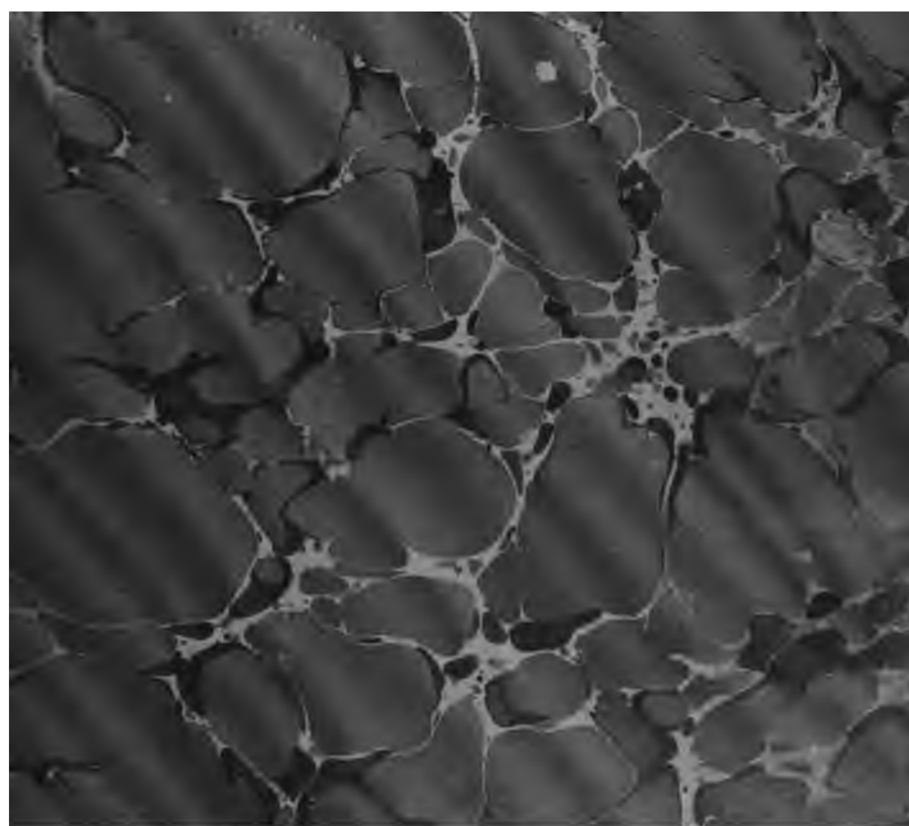

Google

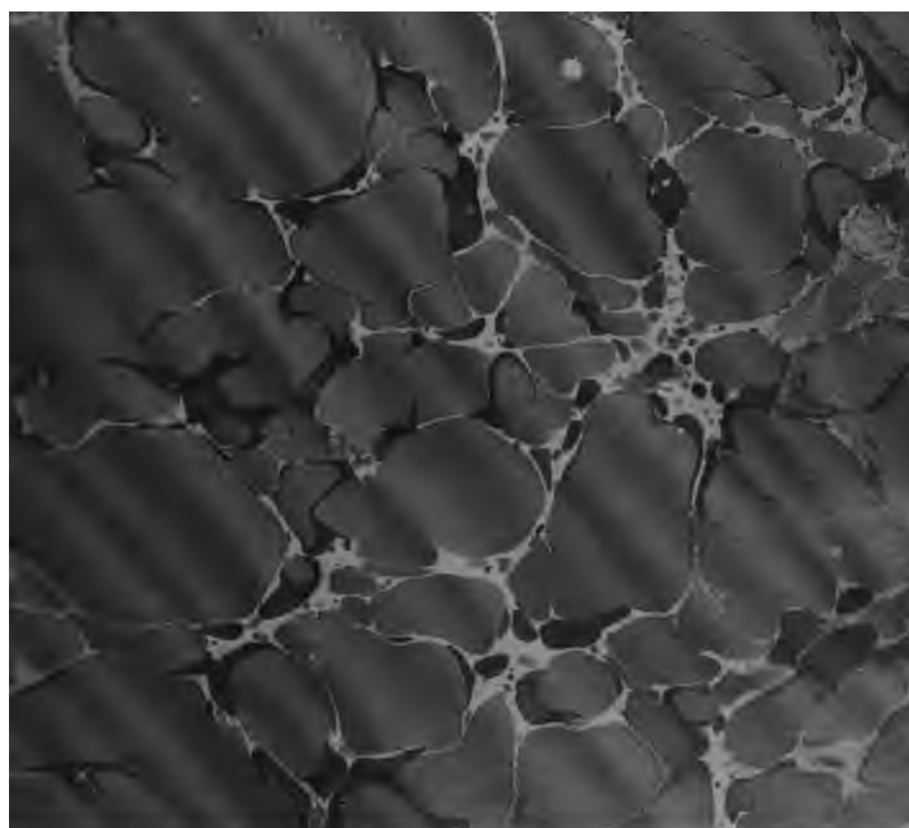









LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY



ANNALES

DES MINES

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une Commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux publics. Cette Commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux publics*, à M. l'inspecteur général, secrétaire de la Commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé 10 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1f,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0f,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'Etranger.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

DIXIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME X.

PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—

1906

ANNALES

DES MINES

LES
BASSINS LIGNITIFÈRES ET HOUILLERS
DES MONTAGNES ROCHEUSES

Par M. Étienne-A. RITTER.

INTRODUCTION.

Les bassins charbonneux (*) de l'Amérique du Nord peuvent être classés en deux grands groupes : ceux dont les dépôts datent du carbonifère et ceux dont les dépôts sont d'une époque récente, soit le crétacé, soit le tertiaire. Les bassins houillers du carbonifère sont ceux de Pensylvanie et des autres États de l'Est et du Centre des États-Unis.

Les bassins charbonneux des Montagnes Rocheuses appartiennent au groupe de Laramie, à l'exception de quelques bassins de peu d'importance commerciale qui datent de la base du crétacé et aussi de la base du crétacé supérieur. Le groupe de Laramie marque un terme de passage entre le crétacé et le tertiaire. Il correspond au danien et au thanétien du bassin de Paris, autant qu'on peut établir

(*) Les charbons des Montagnes Rocheuses présentent tous les termes de passage entre un lignite, comparable à celui du bassin de Fuveau, et un anthracite.

un parallèle entre deux formations si éloignées géographiquement.

Ces bassins charbonneux forment une bande discontinue qu'on peut suivre depuis le Nord de la République du Mexique, et par la Colombie britannique, jusqu'en Alaska. La plupart des bassins de la côte du Pacifique sont d'âge tertiaire, soit éocène, soit oligocène. Ils sont peu étendus et doivent leur importance à leur situation géographique.

Les bassins des Montagnes Rocheuses forment un champ immense, déjà largement exploité, et dont l'avenir parait exceptionnellement brillant. L'histoire de leur développement passé est intimement liée à celle du peuplement de la région où ils se trouvent et des différents États des Montagnes Rocheuses en général. Mais l'activité dans les diverses branches de l'industrie a été si rapide que, quoique aucun bassin ne produise le quart de ce qu'il pourrait, le tonnage extrait est au-dessous de la demande actuelle, et c'est principalement le manque de main-d'œuvre qui empêche les mines d'augmenter leur tonnage.

Les dépôts de charbon crétacé sont exploités dans les provinces de Coahuila et de Sonora au Mexique, et dans les États du Nouveau-Mexique, du Colorado, de l'Utah, du Wyoming et du Montana aux États-Unis, dans la Colombie Britannique au Canada, et en Alaska.

Les cartes qui accompagnent ce mémoire (Pl. I et II) donnent une vue générale de la situation de ces bassins charbonneux. Leur superficie comprend une étendue de 110.000 kilomètres carrés, avec, à l'Est et appartenant au même groupe géologique, un double bassin de 140.000 kilomètres carrés de lignite dans les deux États du Dakota du Nord et du Dakota du Sud. Le nombre des bassins charbonneux marqués sur la carte est d'environ 40. Un bassin qui était continu comme lagune de dépôts est parfois marqué comme deux bassins d'exploitation. En effet, des mouvements orogéniques postérieurs au dépôt des combus-

tibles en ont plissé les couches, et les deux moitiés du bassin sont séparées par quelque chaîne de montagne élevée.

Aussi leur exploitation a-t-elle lieu dans deux vallées totalement différentes, où l'on arrive par deux lignes de chemin de fer appartenant à deux Compagnies rivales. Si bien qu'au point de vue commercial ce sont réellement deux bassins complètement à part et souvent rivaux. J'ai laissé de côté sans les indiquer quelques petits bassins insignifiants.

Ce mémoire comprend une étude géologique des conditions de dépôt du charbon et de sa transformation, et une étude des différentes qualités de combustible, avec analyses à l'appui ; une description géographique des différents bassins charbonneux, avec l'indication des chemins de fer qui les traversent ; une courte description des procédés en usage pour le creusement et l'entretien des galeries et des puits de mine, des méthodes de déhouillement, et une étude de la fabrication du coke, et une courte étude statistique du nombre d'ouvriers employés, des accidents, du tonnage extrait et des salaires payés ; enfin un chapitre de conclusions.

CHAPITRE PREMIER.

CONDITIONS DE DÉPÔT ET FORMATION DE LA HOUILLE. DIFFÉRENTES QUALITÉS DE CHARBON.

Les dépôts charbonneux des Montagnes Rocheuses appartiennent aux périodes du crétacé et de l'éocène. Ils ont été formés dans deux larges géosynclinaux, l'un à l'Ouest et l'autre à l'Est du large géanticlinal des Montagnes Rocheuses. Ces deux géosynclinaux n'ont pas eu la même histoire. Tous deux ont commencé à être nettement dessinés par les mouvements tectoniques qui, dans la partie

orientale du continent américain, ont marqué la fin de l'infracrétacé. Ces mouvements ont été peu accentués à l'origine, mais ils ont affecté d'immenses territoires.

Avec le début de l'étage inférieur du crétacé supérieur, une série de cuvettes synclinales sont apparues dans la géographie de l'Ouest du continent américain. Ces cuvettes lagunaires, séparées les unes des autres par d'immenses espaces, ici terre ferme et là mer plus profonde, formaient deux chapelets parallèles dans les deux vastes géosynclinaux longs et étroits qui s'alignaient du Nord au Sud. Le synclinal oriental, situé beaucoup plus au Nord que l'autre, s'étendait du Nord de l'Alaska à l'île de Vancouver; l'autre, plus méridional, allait de la partie Ouest de la Colombie Britannique aux provinces septentrionales du Mexique.

Tous deux ont présenté tout d'abord des conditions favorables au dépôt des combustibles dans la partie méridionale de la Colombie Britannique.

A cette époque, la partie Nord du synclinal sur le versant du Pacifique et la partie Sud du géosynclinal sur le versant de l'Atlantique des Montagnes Rocheuses n'offraient que des conditions médiocrement propices à ce dépôt charbonneux.

Tandis que dans l'île de Vancouver et dans celles de l'archipel de la Reine-Charlotte s'accumulaient d'épaisses veines de charbon, les conditions géographiques dans l'Alaska ne permettaient qu'une accumulation de grès et de schistes ne contenant aucune trace de combustible.

A la même époque, des couches de charbon s'accumulaient dans les bassins occidentaux de la Colombie Britannique, et les mêmes caractères géographiques, quoique moins prononcés, amenaient le dépôt de lignites dans plusieurs cuvettes d'importance secondaire plus au Sud, dans l'État du Montana, dans les Black-Hills au Nord-Est du Wyoming et dans le bassin de Hams-Fork au Sud-Ouest

du même État. Au Colorado, ces conditions étant encore plus affaiblies, il ne pouvait se déposer dans les couches du Dakota que des veines de charbon trop minces et trop impures pour devenir exploitables. Le dépôt de couches charbonneuses à cette époque manque complètement plus au Sud. Cependant, à la fin de cette première phase et durant l'étage suivant, un bassin charbonneux important a existé dans le Sud du Colorado. Les recherches les plus récentes ont montré que plusieurs des bassins du Nouveau-Mexique, tels que ceux de Los Cerillos, La Plata et Gallup, datent aussi de l'étage des Fox-Hills, au sommet du groupe de Montana et à la base des grès de Laramie.

Pendant ce temps des mouvements tectoniques changeaient l'aspect du pays. Les chaînes nombreuses qui, dans leur ensemble, forment le groupe des Montagnes Rocheuses, commençaient à se dessiner nettement et à préparer les conditions de l'époque suivante, celle des grès de Laramie, qui est caractérisée spécialement par des dépôts lagunaires. L'âge des grès de Laramie a vu une forte recrudescence de la formation des couches de charbon.

A ce moment, la partie Sud du géosynclinal de la côte du Pacifique a cessé complètement d'offrir des conditions favorables au dépôt de lignite. Les zones charbonneuses sont restreintes à la partie septentrionale du géosynclinal, tout le long de la côte de l'Alaska où de nombreux bassins, qui contiennent d'épaisses veines de combustible, témoignent de l'importance du phénomène.

Dans le géosynclinal, sur le versant Est des Montagnes Rocheuses, le phénomène prend une ampleur bien plus grande que durant la phase précédente. D'immenses dépôts de charbon s'accumulent dans de nombreuses lagunes dans les États du Montana et du Wyoming. Le phénomène atteint son maximum dans le Sud du Wyoming et dans le Nord du Colorado. Il déborde aussi dans

les États de l'Utah, du Nouveau-Mexique et dans les provinces septentrionales du Mexique.

Avec le début de l'étage suivant, les dépôts de charbon diminuent rapidement. Les conditions cessent d'être favorables dans les États du Nouveau-Mexique, du Colorado et de l'Utah, et ce n'est que dans le Wyoming et dans le Montana que la formation des couches de lignite continue durant l'étage de Fort-Union. Avec le début du tertiaire, le phénomène a cessé dans tout le géosynclinal. S'il existe quelques petits bassins de lignite tertiaire, ici ou là, ils n'ont aucune importance.

Au contraire, le géosynclinal de la côte du Pacifique cesse bien d'offrir des dépôts charbonneux dans toute sa partie centrale, mais il étend subitement au Sud un long bras mince, qui suit la côte actuelle, dans les États de Washington, d'Orégon et de Californie. Durant l'éocène, le géosynclinal, déjà fortement comprimé en nombreux anticlinaux et synclinaux secondaires, offre des conditions favorables au dépôt de nombreuses veines de lignite importantes dans une série continue de petits bassins séparés. Avec la fin de l'éocène, le phénomène cesse complètement dans ce géosynclinal au Sud; mais il fournit durant l'oligocène les nombreux dépôts de lignite de l'Alaska. Le miocène voit la fin définitive du phénomène.

Après les dépôts des couches de charbon, de violents mouvements tectoniques ont formé, durant le tertiaire, la chaîne actuelle des Montagnes Rocheuses, et les bassins charbonneux ont été élevés jusqu'à 3.000 et 4.000 mètres d'altitude, suivant les cas; ils ont été plissés, et ils ont été recoupés par des roches éruptives.

Les Montagnes Rocheuses n'offrent pas une série d'anticlinaux et de synclinaux parallèles. Elles sont formées par une suite de plis monoclinaux, ou de dômes anticlinaux qui sortent d'une plaine horizontale. Aussi les bassins charbonneux ne sont-ils pas ordinairement au centre

d'une cuvette synclinale. Dans la plupart des cas, ils font partie d'un jambage monoclinal, ou bien ils entourent quelque dôme anticlinal.

La différence d'âge entre les dépôts du groupe du Dakota, à la base du crétacé supérieur, et ceux de l'éocène est à peine sensible, lorsqu'on compare ces dépôts de la fin du crétacé et du début du tertiaire avec la succession des dépôts qui ont marqué les diverses périodes du carbonifère en France ou en Pensylvanie.

Un temps plus long s'est probablement écoulé entre le dépôt des couches du carbonifère inférieur et celui du carbonifère supérieur qu'entre le dépôt des couches de l'étage du Dakota et celui des couches de l'éocène.

L'étage de Laramie correspond à un changement géographique marqué par un retrait de la mer. Les dépôts sont moitié marins et moitié lacustres, s'étant faits dans des golfes et dans des lacs, le long de la chaîne déjà esquissée des Montagnes Rocheuses. Dans ces lagunes partiellement en communication avec la mer ouverte, ils ont été formés par dépôt d'une végétation sur place, plus que par transport de bois flottés, comme dans certains bassins en bordure du Plateau Central, en France.

Par places, il est possible de marquer une limite entre la fin de l'étage de Laramie et la base de l'éocène, mais ailleurs, et en bien des points, la transition est si graduelle que la limite doit être placée arbitrairement.

Comme le charbon dans les Montagnes Rocheuses date de la fin du crétacé, il n'a pas subi le même métamorphisme que la houille des bassins de Pensylvanie ou de France, de Belgique ou d'Angleterre, qui sont de la période carbonifère.

Dans les bassins du Pas-de-Calais, du Pays de Galles, des Alleghanys et leurs congénères, les dépôts végétaux ont été ensevelis à une grande profondeur, souvent sous

plusieurs milliers de mètres de sédiments de couches géologiques plus récentes, et pendant un temps très long qui a permis une transformation graduelle et continue des débris végétaux en houille. Cette transformation a été connexe avec celle des grès et des schistes encaissants. Des mouvements orogéniques d'une grande ampleur et d'une profonde intensité ont aussi affecté ces terrains. C'est un métamorphisme général aussi bien que régional — et, par ce mot, j'entends une large étendue de pays — qui a agi.

Les dépôts de lignite des Montagnes Rocheuses sont beaucoup plus jeunes et ont été ensevelis sous des sédiments aussi de cinq à dix fois moins épais que ceux de France ou de Belgique. Aussi présentent-ils tous les termes de passage entre un charbon où le caractère de lignite est encore reconnaissable et un anthracite parfait. Le métamorphisme qui a donné ce dernier type est dû à la présence de roches éruptives et à l'action rapide et locale de volcans plus jeunes que les dépôts de combustible. Le métamorphisme volcanique a accompli dans un temps très court le même résultat que le lent procédé du métamorphisme général. Seulement le résultat est localisé au voisinage du massif éruptif; si bien que le même bassin peut présenter, le long d'une seule couche, tous les termes de passage, depuis un charbon semi-lignitique, par une houille bitumineuse, grasse, et finalement un anthracite, jusqu'au cas extrême d'un coke naturel qui se trouve au contact de la roche éruptive.

D'ailleurs ce coke naturel contient toujours trop de pyrites et d'autres impuretés d'émanations métallifères, montées le long du dyke de roche éruptive, pour être d'aucune valeur commerciale. Dans quelques cas, un charbon lignitique passe localement et directement à du coke.

La relation entre un dyke ou un laccolithe de roche

éruptive et les veines d'anthracite est très intime, la distance étant de 2 à 20 mètres au plus. Quand la distance dépasse ce chiffre, et pour une distance de plusieurs centaines et parfois de plusieurs milliers de mètres, la houille possède les qualités d'une houille grasse et peut être employée pour la fabrication du coke. Plus loin, le charbon, quoique moins riche en carbone, constitue un combustible d'excellente qualité pour chaudières et fourneaux.

Les positions relatives de la roche éruptive et du gisement charbonneux sont de la plus grande importance dans la transformation des lignites en houille grasse et en anthracite. De larges coulées de lave ont couvert une grande superficie au-dessus du bassin houiller de Trinidad-Raton, par exemple, sans affecter les dépôts de houille en profondeur, comme on peut le comprendre facilement d'ailleurs. Pour avoir une réelle influence, il faut que la roche éruptive ait pénétré les couches de combustible, ou ait fait coin tout au voisinage, comme dans le cas d'un dyke ou d'un laccolithe. Il semble prouvé que l'activité volcanique a surtout agi par les émanations de vapeur d'eau surchauffée et par les gaz qui accompagnaient la venue de la roche éruptive, plus que par chaleur directe.

D'ailleurs les venues éruptives ont toujours été plus ou moins en relations avec des mouvements orogéniques dont l'influence doit être reconnue.

L'examen de très nombreuses analyses montre que la transformation du caractère physique du charbon augmente dans la même proportion que le changement chimique.

La diminution de la porosité microscopique du charbon et la perte en eau correspondent à une diminution en oxygène et à une augmentation en carbone, à mesure que ce charbon prend une qualité de plus en plus propre à fournir du bon coke. Cependant, en bien des cas, tantôt un des facteurs manque, tantôt il a pris un développe-

Bassin		Coke	Matières volatiles	Eau	Cendres
Judith ; les mines sont à Depp Creek.	(1)	48,22	31,46	2,58	17,74
	(2)	38,70	28,63	1,80	30,87
Clark Fork ; horizon supérieur.	(1)	48,33	38,22	6,53	6,92
	(2)	47,07	37,54	6,86	8,53
	(3)	46,28	37,30	6,02	10,40
Horizon inférieur.	(1)	44,19	32,36	4,42	19,03
	(2)	43,95	34,20	5,47	16,38
Yellowstone.	(1)	59,27	23,08	3,78	13,87
	(2)	52,04	33,48	3,91	10,57
	(3)	61,74	29,00	0,75	8,51
	(4)	51,32	33,03	2,75	12,88
	(5)	43,50	41,50	3,00	12,00
Trail Creek.	(1)	49,22	31,87	10,51	8,37
	(2)	45,00	37,11	7,70	10,19
Bull Mountains.	(1)	42,65	42,71	7,84	6,80
	(2)	49,94	38,54	6,42	5,10
West Gallatin.	(1)	63,30	23,20	2,82	10,53
	(2)	35,01	42,45	4,13	13,79
	(3)	28,10	33,66	9,75	16,92
Rocky Fork.	(1)	46,20	46,12	2,50	6,01
	(2)	54,00	34,00	9,59	2,50
		État de l'Utah.			
Cedar City et Kanaraville.	(1)	45,09	39,62	4,75	9,64
	(2)	46,02	42,35	4,38	7,25
	(3)	50,28	39,73	4,32	5,67
	(4)	49,95	42,79	4,03	3,23
	(5)	48,62	41,62	3,90	5,85
Scofield.	1	47,30	39,85	7,30	5,55
	2	47,65	39,75	6,55	6,05
	3	51,95	40,88	5,79	1,76
Wasatch ; Castle Gate.	1	48,65	44,29	1,68	5,38
Coalville : mines à Chalk Creek.	(1)	45,48	43,54	8,97	3,90
	2	46,03	41,58	9,00	3,37
Mines à Chalk Creek.	(1)	38,90	46,37	4,30	10,32
	2	44,80	41,70	6,50	7,00
		État du Wyoming.			
Sheridan.		44,70	37,55	13,05	4,70
Bighorn.	1	49,72	38,30	6,40	1,30
	2	48,01	37,80	7,20	1,27
	3	42,49	28,73	10,58	1,10

Bassin		Coke	Matières volatiles	Eau	Cendres
Wind River.		51,11	33,40	10,20	5,29
Hams Fork ; les mines sont à Diamondville.	(1)	42,72	38,80	13,88	4,60
	(2)	50,60	35,10	7,75	6,55
Rock Springs.	(1)	54,70	39,00	4,25	2,05
	(2)	49,13	39,15	8,86	2,86
	(3)	50,22	39,06	7,51	2,59
	(4)	51,27	39,30	6,70	2,72
Rawlins.	(1)	51,56	36,05	7,47	4,32
	(2)	48,50	37,05	5,19	9,25
	(3)	41,07	33,11	19,16	3,64
Hanna.	(1)	44,68	41,85	9,52	3,92
	(2)	41,91	45,05	8,67	4,71
Carbon.	(1)	46,05	42,37	6,13	5,45
	(2)	39,65	41,41	11,70	7,24
État du Colorado.					
Yampa : mines le long de Deep Creek.	(1)	85,35	2,70	1,09	10,06
	(2)	87,96	5,33	2,06	4,63
	(3)	78,50	9,70	5,20	8,25
Mines le long de Bear River.	(1)	47,30	39,60	7,80	5,30
	(2)	52,92	39,49	4,97	7,30
North Park ; mine à Coal Hill, mine de Red Hill.	(1)	41,90	32,20	18,35	6,45
	(2)	48,00	33,30	15,20	3,50
Partie nord de South Platte, mine d'Erie, mine de Marshall, mine de Golden.	(1)	43,31	28,64	22,95	5,10
	(2)	45,98	32,69	18,57	2,74
	(3)	46,43	37,82	13,19	2,54
	(4)	38,46	41,21	17,64	2,67
Partie sud de South Platte.	(1)	41,30	32,15	21,47	5,05
	(2)	41,11	28,84	21,90	5,15
Newcastle.		48,57	36,85	2,58	12,00
Crested Butte.	(1)	88,82	6,59	0,59	4,00
	(2)	87,51	7,62	0,72	4,15
	(3)	56,93	37,23	1,79	4,05
	(4)	55,07	38,27	2,66	4,00
Canyon-City.	(1)	51,47	31,22	5,21	11,10
	(2)	51,72	35,05	8,23	5,00
Trinidad et Raton, mine de Sopris, mine d'Engleville, mine de Rouse.	(1)	58,40	32,18	0,52	8,90
	(2)	57,80	30,30	0,40	11,50
	(3)	57,07	31,13	0,75	11,05
	(4)	53,43	36,96	2,36	7,25

Bassin		Coke	Matières volatiles	Eau	Cendres
La Plata.	(1)	56,62	33,76	1,14	6,25
	(2)	60,29	35,52	1,49	2,65

État du Nouveau-Mexique.

Raton.	(1)	51,60	37,10	2,00	9,30
	(2)	51,50	35,00	3,10	10,40
	(3)	47,50	34,30	2,60	15,60
Cerillos, mine de Sterling.	(1)	88,71	3,18	2,90	5,21
	(2)	41,55	50,45	2,31	5,69
Gallup.	(1)	45,56	40,13	6,66	7,65
	(2)	49,43	38,45	9,13	2,99
	(3)	45,17	40,61	8,23	5,99
Carthage.	(1)	57,00	37,30	0,90	7,00
	(2)	51,46	36,20	1,28	11,24
Whiteoaks.	(1)	47,00	41,25	0.75	11,00
	(2)	76,82	3,90	1,45	17,82
	(3)	49,43	38,45	9,13	2,99

Charbons de la côte du Pacifique.

État de Washington.

Les charbons tertiaires de l'État de Washington donnent des chiffres analogues :

Blue Canyon.	(1)	62,75	31,48	1,79	3,68
Wilkeson.	(1)	56,90	23,55	0,70	18,71
Rosslyn.	(1)	53,66	32,80	1,45	11,94
	(2)	54,55	33,55	2,05	6.85
	(3)	50,11	34,28	2,71	12,65
Franklin.	(1)	57,58	35,36	3,26	3,80
	(2)	46,67	33,50	4,55	15,00
Black Diamond.	(1)	56,08	36,57	3,04	4,17

État de l'Orégon.

Les charbons tertiaires de l'Orégon se rapprochent plus du type lignitique.

Coos Bay.	(1)	41,47	43,64	7,84	7.05
	(2)	37,58	43,08	8.34	11,00
	(3)	38,22	46,11	8,82	6.85

Colombie Britannique.

Bassin		Coke	Matières volatiles	Eau	Cendres
Comox.	(1)	61,82	27,34	0,84	8,7
	(2)	63,64	27,62	1,32	6,7
Nanaimo.	(1)	54,67	33,27	1,88	9,4
	(2)	54,79	35,84	2,86	5,5
Crow's Nest.	(1)	69,93	19,10	0,91	9,83
	(2)	69,14	24,45	1,79	3,62
	(3)	43,63	44,41	2,10	9,86

Alaska.

Bassin		Coke	Matières volatiles	Eau	Cendres
Kootznahoo, Admiraulty Island.	(1)	47,93	44,75	2,44	4,88
	(2)	31,80	35,40	1,66	31,14
Comptroller Bay.	(1)	79,24	15,03	2,41	3,32
	(2)	87,57	7,18	0,83	4,42
	(3)	82,36	13,79	0,77	3,08
Cook Inlet.	(1)	21,01	52,37	11,67	14,95
	(2)	49,89	39,87	1,25	7,82
	(3)	37,14	43,36	12,64	6,89
Matanuska.	(1)	69,34	22,50	1,15	6,42

Il ressort du grand nombre d'analyses que je viens de donner que l'on rencontre tous les degrés possibles depuis un lignite très riche en eau jusqu'à un anthracite pur. De nombreuses mines envoient leur produit tel qu'il sort de la mine, tandis que les autres sont obligées d'avoir d'importantes usines de lavage.

Une partie de ces différents types de houille fournissent un très bon coke, et l'on rencontre tous les degrés entre eux et des types de charbon qui ne donnent jamais de coke.

Un point très important, qui semble avoir été trop négligé, est le poids spécifique des différentes espèces de charbon. Malheureusement les données manquent presque totalement sur ce sujet.

Il est intéressant de noter que les bassins qui donnent les plus hauts chiffres en coke dans les analyses et qui

fournissent la meilleure qualité de houille présentent, en règle générale, des veines moins épaisses que ceux où le charbon a encore conservé son caractère lignitique. Il semble certain que les veines de houille, en perdant une partie de leur eau et de leurs matières gazeuses, ont diminué d'épaisseur. Ce tassement s'est accompli si lentement cependant, et d'une manière si générale et uniforme pour une veine donnée, que le contact avec la roche encaissante, au toit et au mur, n'a pas souffert de ce tassement.

Les veines de houille carbonifère de France ou de Pensylvanie conservent les mêmes caractères et la même composition sur d'immenses territoires. Les lignites crétacés et tertiaires des Montagnes Rocheuses ont été déposés dans des bassins plus restreints. Ils présentent des variations plus rapides que les houilles carbonifères, soit dans leur épaisseur, le nombre et l'épaisseur des havages qu'ils contiennent, soit dans leurs caractères physiques et chimiques. Toutefois les plus grandes différences s'observent sur deux veines parallèles, bien plus que sur deux parties éloignées de la même veine.

CHAPITRE SECOND.

DESCRIPTION GÉOGRAPHIQUE DES DIFFÉRENTS BASSINS LIGNITIFÈRES ET HOUILLERS.

On peut grouper les différents bassins houillers des Montagnes Rocheuses en quatre divisions :

1° Les bassins du Mexique, au Sud;

2° Ceux de la partie centrale, exploités surtout au Colorado, avec, pour annexes, le Nouveau-Mexique, l'Utah et le Wyoming;

3° Les bassins du Montana et de l'intérieur de la Colombie britannique ;

4° Les bassins de la côte du Pacifique, dans l'Orégon, le Washington, l'île de Vancouver dans la Colombie britannique, et de l'Alaska.

Les bassins lignitifères et houillers forment deux longues bandes qui se prolongent du Nord au Sud, sur les deux flancs des Montagnes Rocheuses, tandis que la partie centrale de cette immense chaîne, qui couvre la moitié d'un continent, en est dépourvue dans les États de l'Idaho, du Nevada et de l'Arizona.

Dans un pays nouveau, dont le degré de développement correspond à l'extension des lignes ferrées, les bassins houillers sont plus ou moins exploités en raison de leurs facilités d'accès. Leur importance change avec les tarifs plus ou moins favorables que leur offrent les lignes de chemins de fer pour transporter leur combustible, et avec les débouchés qui sont mis à leur portée. L'augmentation progressive et continue du tonnage extrait annuellement des bassins lignitifères et houillers des Montagnes Rocheuses dépend de deux facteurs. L'un, lent et continu, est le peuplement du pays, son expansion agricole et industrielle ; l'autre, inégal, toujours très rapide et favorisant tantôt un bassin houiller et tantôt un autre, dépend de l'industrie minière. Les découvertes d'un nouveau district aurifère par exemple, tel que celui de Cripple Creek, au Colorado, il y a quinze ans, ou tout récemment ceux de Tonopah-Goldfield-Bullfrog, au Nevada, créent des marchés qui atteignent leur maximum en quatre ou cinq ans et qui peuvent être capables d'absorber alors de 100.000 à 300.000 tonnes de houille par an, suivant les cas.

Les différents États de l'Ouest des États-Unis forment trois grandes classes. Les États arrosés par les eaux du Missouri et de ses affluents — les Dakotas du Nord et du Sud, le Nebraska et le Kansas — sont des pays agricoles,

sans mines de houille dans leur sous-sol, et qui font venir leur combustible en partie des bassins carbonifères de Pensylvanie et des États voisins et en partie des États en bordure des Montagnes Rocheuses et surtout du Colorado, du Wyoming et du Montana.

Les États des Montagnes Rocheuses offrent, ici de larges vallées, bien cultivées, là des steppes coupées par des fermes qui dépendent d'un système d'irrigation pour être productives et qui parent la monotonie de la plaine desséchée de leur oasis de verdure. Ailleurs, le voyageur traverse d'immenses étendues qui sont absolument dépourvues de végétation : c'est le désert; il couvre la plus grande partie des États de Nevada et de l'Arizona. Le désert est souvent riche en minerais, et ce sont ses champs d'or, d'argent ou de cuivre qui supportent une large population et qui permettent une exploitation profitable des bassins houillers du voisinage.

Les États de la côte du Pacifique ont eu aussi leur fièvre de l'or, qui a peuplé en quelques années la Californie au milieu du siècle dernier. Mais, à présent, la côte du Pacifique, dans les trois États de la Californie, de l'Orégon et de Washington, est un pays essentiellement agricole et industriel.

Dans ces trois États, de nombreux torrents offrent une force motrice à très bon marché, et la houille blanche y fait une concurrence vigoureuse à la houille noire. Cependant le pays s'est développé si rapidement, durant ces dernières années, qu'en dépit de cette concurrence récente les mines de houille ont continué à augmenter leur production d'année en année.

Les mines de houille de l'île de Vancouver envoient la plus grande partie de leur produit en Californie, qui n'a qu'un médiocre bassin lignitifère incapable de fournir plus de 6 p. 100 du charbon consommé annuellement dans cet État.

L'Alaska n'a commencé à se développer qu'il y a quatre ou cinq ans; mais les découvertes d'or, de cuivre et d'autres métaux y ont aussitôt attiré une émigration énorme, qui augmente chaque année. Le pays se peuple avec une rapidité incroyable; ses ressources sont immenses, et de nombreux bassins charbonneux y ont été découverts et commencent à être mis en exploitation.

Les quatre facteurs qui déterminent la valeur d'un bassin houiller sont : son étendue, la qualité du charbon, sa position géographique et les marchés qu'il peut atteindre. Il y a dans les Montagnes Rocheuses plus d'une centaine de bassins charbonneux différents, qui varient de quelques kilomètres carrés à quelque dix mille kilomètres carrés en étendue. Les uns sont au milieu de la plaine; d'autres, au sommet de montagnes presque inaccessibles. Et, en règle générale, plus un bassin charbonneux est difficile d'accès, meilleure est la qualité de son charbon. Ce qui se comprend, d'ailleurs, puisque la houille doit sa supériorité à un métamorphisme, soit tectonique, soit éruptif, résultant de la formation des montagnes sur lesquelles le bassin de combustible est perché.

Il s'ensuit que les bassins de houille les plus importants sont souvent fort éloignés des grandes villes qui sont leurs marchés naturels et que leur exploitation dépend de la construction de branches secondaires par les diverses compagnies de chemins de fer concurrentes qui relient les villes principales.

Les chemins de fer qui traversent les Montagnes Rocheuses appartiennent à de grandes Compagnies qui ont établi ou bien qui cherchent à établir des lignes transcontinentales. Au Canada, le « Canadian Pacific » s'étend d'un océan à l'autre. La ligne rivale du « Great Trunk » est activement occupée à établir une autre ligne transcontinentale, 600 kilomètres plus au Nord, qui développera de larges bassins houillers, aujourd'hui à peine connus.

Dans le Nord des États-Unis, le double système du « Great Northern » et du « Northern Pacific » lutte pour la conquête du Pacifique et possède ses immenses bateaux qui font la traversée régulière d'Amérique au Japon. Ces deux Compagnies contrôlent le transport de la houille dans l'État du Montana, la moitié septentrionale de l'Idaho et dans l'État de Washington. Les lignes de l' « Union Pacific », avec les deux branches de l' « Oregon Short Line » et du chemin de fer de « San Pedro-Los Angeles, Salt Lake », et le « Southern Pacific », ont le monopole des mines du Wyoming.

La Compagnie du « Denver and Rio Grande » est en train de construire une ligne à travers l'État du Nevada, en passant par les nouveaux districts aurifères, qui lui donnera un débouché sur la côte du Pacifique. Comme la Compagnie du « Colorado Southern », la Compagnie du « Denver and Rio Grande » a construit de nombreuses branches secondaires, et ces deux Compagnies se partagent le transport du charbon de tous les bassins houillers du Colorado. Ces deux chemins de fer sont intimement liés avec la Compagnie « Colorado Fuel and Iron Co », qui domine l'industrie de la houille, du fer et de l'acier au Colorado et dans les États voisins. Enfin la ligne du « Santa Fe », elle aussi, met en communication la Californie avec l'Est des États-Unis.

Il y a trente ans, les Montagnes Rocheuses et les vastes plateaux qu'elles enserrent étaient considérés comme un vaste désert sans avenir, capable seulement de supporter d'éphémères communautés vouées exclusivement à l'industrie minière. Mais, avec le peuplement du pays, on s'est aperçu que celui-ci avait de plus en plus un avenir agricole et industriel, et de hardis pionniers ont ouvert la voie et sont allés s'établir le long de chaque cours d'eau. Peu à peu les lignes transcontinentales ont construit des branches secondaires et ont développé le trafic local. Ces

branches secondaires, dirigées du Nord au Sud, ont mis en communication avec le reste du pays les bassins houillers qui n'étaient pas situés sur la ligne principale. Elles leur ont fourni des débouchés qui sont devenus de plus en plus importants, à mesure que la population augmentait, grâce à une immigration continue et accélérée.

Il reste encore cependant de très nombreux bassins lignitifères et houillers, riches et importants, qui attendent encore l'arrivée du chemin de fer pour commencer à prendre l'essor qu'ils sont infailliblement destinés à prendre un jour ou l'autre.

LES BASSINS CHARBONNEUX DU VERSANT OCCIDENTAL DES MONTAGNES ROCHEUSES.

Bassins houillers et lignitifères de la Colombie Britannique. — Il y a plusieurs bassins houillers dans le Nord-Est de la Colombie Britannique et dans les provinces nouvellement organisées dans les vastes plaines au Nord d'Alberta. Mais ces bassins sont encore si peu connus qu'il est difficile de juger de leur valeur et de leur importance. Ils seront traversés par la ligne de chemin de fer du « Great Trunk », qui ira de Montréal à l'extrémité méridionale de l'Alaska.

Le long de la rivière Skeena, deux veines épaisses de 4 à 5 mètres ont été mises à découvert. Leur charbon est excellent.

Les deux bassins houillers les plus importants de la Colombie Britannique méridionale sont sur la ligne du « Canadian Pacific », sur les deux versants de la chaine occidentale des Montagnes Rocheuses, et sont connus sous le nom de bassin de « Cascade » et sous celui de « Crow's nest pass ». Le premier fournit un anthracite ; le tonnage produit par ce bassin est très faible.

Le bassin de « Crow's nest pass » est activement exploité, et la houille grasse qu'on y rencontre appartient au crétacé supérieur, à l'étage des grès de Laramie. Le bassin a la forme d'un long triangle, avec sa base au Sud. La surface du bassin est de 5.750 kilomètres carrés. On estime la quantité de houille qu'il contient à 22.595.200.000 tonnes. On y a rencontré 21 veines différentes, qui varient de 28 centimètres à $4^m,60$ et qui toutes ensemble donnent une épaisseur totale de houille de 37 mètres répartis au milieu de 222 mètres de grès et de schistes qui forment l'horizon charbonneux de Laramie. A Morissey, où sont les mines principales, cinq mines ont été ouvertes dans cinq veines différentes.

Bassins houillers et lignitifères de l'État de Montana. — L'État du Montana a la particularité d'offrir un plus grand nombre d'horizons géologiques riches en charbon qu'aucun des autres États de l'Ouest des États-Unis. On rencontre des couches de houille exploitables dans le jurassique, plusieurs horizons du crétacé, l'étage de Laramie et le tertiaire.

Cependant presque tous les bassins largement exploités appartiennent à l'étage des grès de Laramie.

Dans l'État du Montana, comme dans celui du Wyoming, un charbon qui a gardé un caractère très prononcé de lignite se rencontre à une faible profondeur de quelques centaines de mètres au plus, sous l'immense plaine dans la partie orientale du pays. Ces couches de lignite s'étendent à l'Est et au Sud-Est, dans les États du Dakota du Nord et du Dakota du Sud et en Wyoming.

Dans la partie montagneuse du Montana, le charbon est de bien meilleure qualité et occupe une grande superficie en de nombreux bassins.

Comme le pays est loin encore d'avoir la population qu'il peut supporter, et que les lignes de chemin de fer

sont très éloignées les unes des autres et n'ont encore que peu de branches secondaires, l'exploration des divers bassins houillers n'est pas très avancée. Pour beaucoup d'entre eux, les travaux de recherches ont été faits seulement sur quelques points favorablement situés près de quelque centre de colonisation, avec des résultats presque toujours excellents.

Presque tous les bassins offrent plusieurs veines superposées dont l'épaisseur et la qualité garantissent une exploitation profitable. Mais les travaux de recherches et ceux d'exploitation déjà accomplis ont montré que les veines s'amincissent parfois sur une très faible distance ou bien qu'elles perdent leur pureté et n'offrent plus qu'un mauvais combustible. Aussi la valeur commerciale de plusieurs bassins demandera de nombreux travaux de recherches pour être appréciée exactement.

Les bassins principaux du Montana (Pl. I et Pl. III, *fig.* 1) sont ceux de « Bull Mountain », de « Little Belt Mountains », de « Clark Fork », du « Yellowstone », de « Cinnabar », de « Rocky Fork », de « Trail Creek » et de « West Gallatin ». Je mentionne simplement en passant les quatre petits bassins à peine connus de « Judith Mountains », de « Rubby Valley », de « Toston » et de « Smith River ».

Le *bassin de Bull Mountain* est situé 40 kilomètres au Nord de la ligne principale du « Northern Pacific ». Les veines de lignite se rencontrent dans les grès de l'étage de Laramie et dans ceux de l'étage suivant de Fort Union, tout au sommet du crétacé supérieur. C'est un bassin synclinal unique et très simple, où les veines de lignite, presque horizontales, n'ont nulle part un plongement de plus de 6°, et qui occupe une superficie de 130 kilomètres carrés. La veine principale, épaisse de 3 mètres à l'extrémité orientale, atteint 5 mètres d'épaisseur sur la bordure occidentale de la cuvette.

Le charbon est d'un type supérieur de lignite, comme on

peut en juger d'après les deux analyses que j'ai données du combustible de ce bassin dans le chapitre précédent.

Le *bassin des « Little Belt Mountains »* forme une bande longue et mince sur le versant Nord de la chaîne de montagnes du même nom, et les couches de houille qu'on y rencontre plongent aussi de quelques degrés au Nord. Les veines de lignite se rencontrent dans les grès et schistes de l'étage de Kootenai, qui correspond au crétacé inférieur.

La mine la plus importante est à Sandcoulée, sur une branche du « Great Northern ». Les mines qui fournissent leur charbon et leur coke aux larges fonderies de cuivre de la Compagnie Anaconda sont ouvertes dans une veine de 1^{m},85 d'épaisseur presque horizontale. En dehors de ce point, le bassin n'a été exploité que par de très petites mines sans importance.

Plus à l'Ouest, le bassin des monts « Judith » affleure en formant un anneau autour d'un dôme anticlinal de terrains plus anciens que les couches charbonneuses.

Le *bassin de « Clark Fork »* est formé par les assises de la base des grès de Laramie, qui affleurent au pied du massif important des monts « Bighorn ». Ce bassin lignitifère a sa prolongation ininterrompue dans l'important bassin du « Bighorn », dans le Wyoming; celui-ci forme au sud-est la continuation des contreforts qui supportent les hauts sommets des monts « Bighorn ».

Dans le Montana, la zone des couches riches en charbon est traversée par la ligne principale du chemin de fer « Northern Pacific ». Une veine dont l'épaisseur varie de 1 mètre à 1^{m},60 est la seule qui y soit encore reconnue et exploitée.

Le *bassin du Yellowstone* est formé par une bande de grès de Laramie, riches en veines de charbon; il affleure sous la forme d'une bande tortueuse entre les sources du Missouri et la rivière du Yellowstone et se prolonge sur

la rive Sud de ce dernier cours d'eau. Cette zone forme un bassin houiller de 12 à 40 kilomètres de largeur, sur une longueur de 75 kilomètres. Les couches y sont plus fortement redressées que dans les autres bassins lignitifères du Montana, et leur inclinaison varie de 25° à 90°.

Les assises charbonneuses forment les contreforts au pied des chaînes de montagnes de Gallatin et Bridger, et les couches plongent sous la vallée. Plusieurs failles ont été formées aux points où la direction des couches change d'une manière brusque et, en plusieurs places, des dykes éruptifs recoupent les couches de Laramie et ont une influence marquée, en transformant les veines de lignite en excellente houille grasse, propre à fournir du coke.

Trois veines principales ont été reconnues, mais parfois une seule est assez épaisse pour être exploitable. Les trois veines ont ensemble de 4 à 6 mètres d'épaisseur. L'épaisseur des grès de Laramie qui contiennent les horizons charbonneux est de 300 mètres. On a reconnu parfois un maximum de 20 veines, dont le plus grand nombre n'est pas exploitable.

Le bassin est traversé dans sa longueur par la ligne principale du « Northern Pacific ». Les mines sont situées à Livingstone et à Bozeman. Dans la partie orientale du bassin, à Bozeman, la plus élevée des trois veines principales est exploitée activement.

Elle contient de $1^{m},20$ à 2 mètres de houille, séparés en trois parties par deux havages qui varient d'épaisseur, mais qui existent toujours. La houille a été fortement broyée et est employée presque exclusivement pour la fabrication du coke.

Le *bassin de Cinnabar* est situé au Sud de celui du Yellowstone et forme la partie supérieure d'un contrefort très important du pic « Electric ». Comme dans le bassin précédent, on y rencontre trois veines principales qui

plongent au Sud de 40° à 60°. La houille y est d'un type très analogue à celle du bassin houiller du Yellowstone. Il est possible que ces deux bassins aient fait partie d'une seule cuvette de déposition et que la formation de la chaîne de Cinnabar et l'érosion subséquente l'aient coupée plus tard en deux branches, séparées l'une de l'autre par plus de 30 kilomètres.

Les deux mines de Bowers et de Horr sont les seules de ce bassin; elles fournissent surtout du coke et sont reliées à la ligne principale du « Northern Pacific » par une branche secondaire de 40 kilomètres qui remonte la vallée du Yellowstone depuis la ville de Livingstone jusqu'aux mines de houille.

Le *bassin de Rocky Fork* est aussi rejoint par une branche secondaire du « Northern Pacific », construite en vue de l'exploitation des mines de houille. Ce bassin est séparé seulement par une bande anticlinale de 5 kilomètres de largeur du vaste bassin de « Clark Fork-Bighorn ». Quoique sur le versant opposé d'un anticlinal faiblement marqué, il n'appartient pas au même horizon géologique que l'important synclinal de « Clark Fork-Bighorn ». Celui-ci appartient à l'étage de Laramie, tandis que celui de Rocky Fork est formé par les couches de l'étage suivant, l'étage de Fort Union.

L'inclinaison des couches varie de 21° Sud, sur la bordure septentrionale de la cuvette, à 4° Ouest, sur sa bordure occidentale. Le bassin couvre une superficie de 75 kilomètres. On y rencontre cinq veines exploitables dont l'épaisseur varie de 1m,60 à 2m,30.

Le chemin de fer du « Northern Pacific » possède la seule mine activement exploitée de ce bassin. Le charbon est un terme de passage entre un lignite et une houille grasse, comme le montrent les deux analyses données dans le chapitre précédent. Elle fournit un excellent combustible pour les chaudières de machines à vapeur,

et la Compagnie du chemin de fer brûle ce charbon sur ses locomotives.

Les *bassins de Trail Creek* et de *West Gallatin* n'ont pas encore été suffisamment développés pour qu'on puisse juger exactement de leur importance. Tous deux présentent trois veines de charbon assez épaisses pour être exploitables. Tous deux ont été recoupés après leur formation par des dykes et des laccolithes de roches éruptives qui ont transformé le lignite qu'ils contenaient en une houille grasse propre à fournir un excellent coke, et il est très possible que des travaux de recherches systématiques démontrent que la houille a été transformée localement en anthracite.

Les autres bassins du Montana sont trop peu importants et trop éloignés des lignes de chemin de fer pour mériter une description détaillée.

Les bassins lignitifères de l'État du Wyoming. — Le sous-sol de l'État du Wyoming contient une plus grande quantité de lignite que celui des deux États voisins du Montana au Nord et du Colorado au Sud. Le pays n'a pas été plissé en d'importantes chaînes de montagnes comme les deux États voisins, et il n'offre pas non plus leur accompagnement naturel de roches éruptives ; si bien que les bassins du Wyoming n'ont pas une qualité de charbon qui puisse être comparée avec celle des bassins qu'on trouve plus au Nord ou plus au Sud. Non seulement l'on n'a pas trouvé d'anthracite dans le Wyoming, mais il n'y a même aucun bassin lignitifère dont le charbon fournisse du coke de bonne qualité. Le combustible a gardé partout son caractère originel de lignite. Cependant le charbon des bassins situés dans la partie méridionale de l'État est supérieur à celui des bassins situés au Nord. Ces bassins méridionaux donnent un charbon recherché pour les chaudières de machines à vapeur et pour l'usage domestique.

Les bassins lignitifères du Sud de l'État sont exclusivement traversés par la ligne principale du chemin de fer de l' « Union Pacific ». A présent, cette Compagnie et la Compagnie du « Burlington » sont activement occupées à établir des devis pour deux lignes en compétition l'une par rapport à l'autre qui devraient traverser l'État de l'Est à l'Ouest dans sa partie centrale. La Compagnie du Chicago, Burlington et Quency a une branche qui coupe le coin Nord-Est de l'État et qui touche, à Sheridan et à Newcastle, un bassin lignitifère dont la partie principale s'étend dans l'État du Dakota du Sud.

Presque tous les bassins lignitifères du Wyoming appartiennent à l'étage des grès de Laramie, et un grand nombre comprennent les deux étages de Laramie et de Fort Union.

La ligne de l'« Union Pacific » et la branche de l' « Oregon Short Line » traversent les bassins de « Carbon », « Hanna », « Rawlins », « Rock Springs », « Hams Fork », « Almy » et « Sublette » (Pl. I). Cette ligne de bassins houillers forme de larges cuvettes synclinales (Pl. III, *fig.* 2), échelonnées de l'Est à l'Ouest sur le haut plateau du Wyoming, et séparées les unes des autres par des anticlinaux aplatis et à peine marqués. Au sud de cette ligne de bassins on rencontre une seule cuvette de dépôts lignitifères, celle de « Henry's Fork », à la limite du Colorado.

Au Nord, les bassins de Casper, de Wind river et des Teton forment une seconde ligne parallèle à la première. Les bassins y sont beaucoup plus restreints, et le plus oriental, celui de Casper, est le seul qui soit relié par une branche secondaire avec le réseau du « Chicago and North Western », qui appartient à la Compagnie de l'« Union Pacific ».

Le large bassin du Bighorn occupe une vaste surface dans la partie Nord de l'État (Pl. I), tandis que dans le coin

Nord-Est on rencontre la bordure orientale de l'immense cuvette de lignite des Dakotas et le bassin des Black Hills.

Le *bassin de Carbon* est régulier dans sa partie méridionale et les couches y sont presque horizontales. L'extrémité Nord est coupée par plusieurs failles. Dans la partie Sud, l'on rencontre deux veines : l'une de 2 mètres et demi à la base, et une autre de 7 et demi 50 mètres plus haut. Une veine supérieure de $2^m,30$ d'épaisseur, qui a été enlevée par l'érosion dans la partie méridionale du bassin, est la seule qui affleure à la surface. C'est la seule veine qui soit exploitée dans ce bassin.

Le *bassin de Hanna* a une longueur de 100 kilomètres, et il est formé par les deux étages de Laramie et de Fort Union, qui tous deux contiennent des veines assez épaisses pour être exploitables. Dans la partie Nord du bassin, les veines sont coupées par une série de failles. L'étage de Laramie contient trois veines principales, au milieu de 220 mètres de grès et de schistes. La veine supérieure et la veine inférieure ont chacune une épaisseur moyenne de 7 mètres, tandis que la veine du milieu est épaisse de 2 mètres.

L'étage de Fort Union ne contient qu'une seule veine exploitable.

La houille de ce bassin est brûlée sur les locomotives de la Compagnie de « l'Union Pacific », et elle fournit un très bon combustible. L'extrémité Nord du synclinal touche à l'extrémité septentrionale du bassin suivant, tandis que les deux cuvettes synclinales vont en s'écartant de plus en plus l'une de l'autre vers le Sud.

Le *bassin de Rawlins* est un étroit synclinal, long de 100 kilomètres et dans lequel les horizons de Laramie et de Fort Union contiennent des veines exploitables. L'inclinaison des couches est en général faible. On a reconnu quatre veines exploitables d'une épaisseur de 2 à 3 mètres

et la qualité du charbon devient d'autant meilleure qu'on avance vers l'extrémité méridionale du bassin. Aucune mine importante n'exploite la houille de ce bassin.

Le *bassin de Rock Springs* a la forme d'un croissant qui entoure presque complètement un dôme anticlinal. On rencontre des veines de houille exploitables dans les deux étages de Laramie et de Fort Union. Les veines comprises dans les grès de Laramie fournissent un charbon excellent pour les chaudières des machines à vapeur et pour l'usage domestique. C'est un terme de passage entre un lignite et une houille grasse. Les veines de l'étage de Fort Union ont conservé leur caractère primitif de lignites.

On a reconnu, au milieu d'une épaisseur de 500 mètres des couches de Laramie, six veines exploitables, qui toutes contiennent plusieurs havages, et qui varient de 2 mètres à 4 mètres d'épaisseur.

Le *bassin de Hams Fork* est un synclinal long de 100 kilomètres et large de 15. Ce synclinal contient de petits anticlinaux secondaires, et les couches y ont une inclinaison qui varie de 20° à 30°. Il est recouvert dans la partie méridionale par des couches tertiaires partiellement érodées. Le bassin n'a encore été développé que sur la partie Nord-Est de sa bordure.

C'est le seul bassin du Wyoming qui contienne des veines de houille d'un âge antérieur à celui des grès de Laramie. On y rencontre, en effet, deux horizons absolument différents et séparés par 1.400 mètres de couches sans charbon. L'horizon inférieur appartient probablement à l'étage du Dakota, c'est-à-dire à la base du crétacé supérieur. L'horizon supérieur est, comme d'habitude, dans l'étage de Laramie.

L'horizon inférieur contient cinq veines qui ont de $1^{m}.60$ à 6 mètres d'épaisseur et qui fournissent un combustible de très bonne qualité, employé par les locomotives de l'« Oregon Short Line ». Les veines, dans les grès de

Laramie, sont très épaisses et varient de 2 à 7 mètres; l'une d'elles atteint un maximum de 28 mètres.

Le *bassin d'Almy* a une superficie de 160 kilomètres carrés, et il est deux fois plus long du Nord au Sud qu'il n'est large. Deux mines y sont en exploitation sur une veine de 7 mètres d'épaisseur, qui fournit du bon combustible. L'horizon carbonifère de ce synclinal appartient aux grès de Laramie.

Les bassins de Sublette et d'Henry's Fork n'ont pas d'importance; ils appartiennent à l'étage de Laramie, ainsi que les bassins de Casper, de Wind river et de Teton; aucun de ces bassins n'est exploité sur une large échelle.

Le *bassin du Bighorn* comprend les horizons charbonneux des étages de Laramie et de Fort Union. Le synclinal est bien marqué et les couches sont inclinées de 20° à 30° sur ses deux flancs.

La partie centrale du synclinal est largement recouverte par des dépôts récents. Le charbon est un lignite de qualité supérieure, et l'on a reconnu au moins trois veines exploitables dont l'épaisseur varie de 1m,20 à 2 mètres.

Le *bassin de lignite des Dakotas* occupe une superficie de 22.000 kilomètres carrés. Il contient six veines dont l'épaisseur varie de 2 à 7 mètres, et qui n'ont pas de havages. Malheureusement le charbon a encore presque tous les caractères d'un lignite et surtout contient une forte proportion d'eau, ce qui empèche ce bassin d'avoir une grande importance commerciale, en dépit de son étendue et de l'épaisseur de ses veines.

Des mines situées le long de la ligne de chemin de fer du « Burlington » en exploitent le combustible à Newcastle et à Sheridan.

Le *bassin des Black Hills* est situé à la frontière des États du Dakota du Sud et du Wyoming; il est situé

presque en entier dans le Wyoming. Il est traversé par une branche secondaire du Burlington. L'horizon qui contient les couches de charbon est l'étage du Lakota, situé immédiatement au-dessous de l'étage du Dakota, qui contient des veines de charbon dans certains bassins du Montana et du Wyoming. L'étage de Lakota représente l'horizon le plus inférieur à la base du crétacé supérieur.

Le bassin houiller a la forme d'un croissant, et il est formé par une mince bande, longue de 100 kilomètres, de couches riches en charbon qui entourent à l'Ouest, au Nord et à l'Est le dôme anticlinal des Black Hills. Cependant les couches encaissantes et les veines de charbon sont très peu inclinées.

Il y a plusieurs veines dont une seulement est exploitable et atteint une épaisseur de 2 mètres et plus. Elles contiennent plusieurs havages et elles varient rapidement en épaisseur et en pureté sur une faible distance.

Les bassins lignitifères et houillers de l'État du Colorado. — Les bassins houillers de l'État du Colorado sont à la fois les plus étendus, les plus importants et les mieux connus des Montagnes Rocheuses. Ils contiennent, en général, la meilleure qualité de houille, et ils ont été l'objet d'une exploitation beaucoup plus active que ceux des États voisins.

Presque tous les bassins houillers du Colorado appartiennent à l'étage des grès de Laramie; dans aucun d'entre eux les dépôts de charbon n'ont continué à se former jusque dans l'étage de Fort Union, comme cela a été le cas dans un grand nombre des bassins lignitifères du Wyoming. Deux bassins, celui de La Plata, dans la partie Sud-Ouest de l'État, et celui de Yampa, appartiennent à un étage antérieur aux grès de Laramie. Les

veines de houille de ces deux bassins sont dans l'étage du Montana, qui est situé entre celui du Dakota et celui de Laramie. L'étage du Dakota contient parfois des veines de houille, mais celles-ci sont toujours trop minces pour pouvoir être exploitées.

Les bassins du Colorado peuvent être séparés en deux grands groupes :

Celui des bassins qui sont situés au pied des Montagnes Rocheuses, sur leur versant occidental : les trois bassins de South Platte, de Canyon City et de Trinidad-Raton appartiennent à ce groupe (Pl. I ; Pl. III, *fig.* 4).

Au milieu des massifs montagneux, l'on rencontre les bassins du second groupe (Pl. III, *fig.* 3). Ce sont les bassins de North Park et de Como, de Yampa et de Flat Top ; le vaste bassin continu de Meeker, Newcastle, Crested Butte, Grand Junction s'étend à l'Ouest, dans l'État de l'Utah, sur une distance de 200 kilomètres, et fournit plus des trois quarts de la houille extraite dans l'Utah. Ce grand bassin peut être subdivisé en trois parties. La section septentrionale est comprise dans le bassin fluviatile de « Grand River » et de ses affluents, de « Crystal River » et de « Rifle-Creek ». La section centrale occupe la vallée du Gunnisson et de ses affluents et la section orientale est dans l'État de l'Utah.

Le bassin de Tongue Mesa et celui de La Plata complètent la liste des bassins houillers du Colorado.

Les deux Compagnies rivales du « Denver and Rio-Grande » et du « Colorado Southern » se partagent le tonnage extrait de ces différents bassins. La Compagnie importante « Colorado Fuel and Iron Co » domine le marché et la production de la houille au Colorado et dans les États voisins. Elle a établi de vastes forges et aciéries à Pueblo.

La houille du Colorado présente tous les types de passage entre un lignite comme celui qui est exploité dans

le bassin de South Platte, par une houille grasse qu'on rencontre dans la plupart des autres bassins, jusqu'à un anthracite qui existe seulement dans le bassin de Gunnisson ou de Crested Butte et dans celui de Yampa.

Le *bassin de South Platte* forme une longue zone mince, qui suit le pied des Montagnes Rocheuses depuis la frontière Nord de l'État jusqu'à Colorado Springs, sur une étendue de 225 kilomètres. Dans la partie Nord, le bassin ne contient qu'une qualité inférieure de lignite, et dans la partie centrale, entre Denver et Colorado Springs, il n'offre pas de veine de qualité et d'épaisseur suffisantes pour être exploitable. Seulement 10 p. 100 de la superficie du bassin ont fourni jusqu'à présent des veines assez épaisses pour être exploitées.

On peut diviser le bassin en deux grands groupes, l'un exploité dans les mines situées au Nord-Ouest de Denver, et l'autre 125 kilomètres plus au Sud, près de Colorado Springs.

Le bassin au Nord de Denver a toutes ses veines importantes concentrées à la base de l'étage de Laramie. Une veine épaisse occupe la partie supérieure de l'étage; mais elle fournit seulement un combustible de qualité très inférieure, et elle n'a qu'une faible importance commerciale.

Les mines de ce bassin doivent leur importance à leur proximité d'un marché important, car les veines ne contiennent qu'un lignite riche en eau, et qui se morcelle en « menus » s'il est exposé à l'air pendant un temps même assez court.

Le bassin est formé par une série de synclinaux séparés les uns des autres par des failles verticales, comme le montre la *fig.* 3 de la Pl. III jointe à ce mémoire. Ces synclinaux sont peu profonds, et l'inclinaison des veines n'y dépasse pas 20°. Trois veines principales, d'une épaisseur qui varie de 2 à 5 mètres, sont exploitées dans ce

bassin. Les veines ont parfois des havages, mais plusieurs mines exploitent une veine épaisse de 4 mètres sans aucun havage.

Les lignes de chemin de fer du « Colorado Southern », du « Burlington » et de l'« Union Pacific » traversent ce bassin.

La partie méridionale du bassin de South Platte est exploitée par six ou sept mines près de Colorado Springs. On y rencontre une seule veine à la base des grès de Laramie. Cette veine varie de 2 mètres à 7 mètres d'épaisseur et ne contient pas de havage, excepté à l'extrémité Nord du bassin, où elle cesse d'être exploitée. La veine, dans ce bassin, a la forme d'une large lentille de 12 kilomètres de diamètre qui s'amincit à ses deux extrémités Nord et Sud et devient trop réduite pour être exploitable.

Le charbon a conservé son caractère lignitifère primitif, et ici, comme dans la partie septentrionale du bassin, les mines doivent leur importance au marché dans leur voisinage immédiat, que leur fournit la ville de Colorado Springs.

La veine plonge de 6° à 15° à l'Est. Les chemins de fer du « Santa Fé », du « Denver and Rio Grande » et du « Rock Island » traversent ce bassin.

Le bassin de Canyon City est formé par une sorte de golfe échancré dans la muraille frontale des Montagnes Rocheuses qui domine la grande plaine des États-Unis. Il occupe une superficie de 130 kilomètres carrés, dont 60 p. 100 contiennent des veines exploitables. Les veines sont intercalées à la base de 300 mètres de grès de l'étage de Laramie. On a reconnu seize veines différentes, dont trois seulement sont exploitables, et qui ont une épaisseur variant de 1 mètre et demi à 3 mètres.

Le charbon est d'un type intermédiaire entre le lignite du bassin de South Platte, au Nord, et la houille grasse

pre à fournir du coke du bassin de Trinidad-Raton, Sud. Il semble que le métamorphisme a été d'autant us accentué à mesure que l'on s'avance vers le Sud, ce phénomène est encore plus marqué plus au Sud, ans l'État du Nouveau-Mexique, où le bassin de Los 'erillos, qui appartient à la même zone frontale, fournit le l'anthracite.

Les chemins de fer du Denver and Rio Grande et du Santa Fé se partagent le tonnage de ce bassin. La découverte du district aurifère de Cripple Creek, il y a quinze ans, a eu une influence prépondérante dans l'importance qu'ont prise les mines du bassin de Canyon City.

Le *bassin de Trinidad-Raton* est à cheval sur la frontière du Colorado et du Nouveau-Mexique ; il a une importance considérable, et il est le plus activement exploité de tous les bassins houillers des Montagnes Rocheuses.

Les traits essentiels du bassin sont le résultat des mouvements tectoniques post-crétacés et pré-tertiaires qui ont formé les chaînes de montagnes de Sangre de Christo et de Wet Mountains. Les couches de Laramie au milieu desquelles sont intercalées les veines de houille ont été fortement redressées au Nord-Ouest, le long de la chaîne de Sangre de Christo et de Wet Mountains, tandis qu'au Sud-Est, du côté de la plaine, elles ont été soulevées en une large voûte anticlinale qui forme le mont Raton, à la limite des deux États. Des failles de 20 à 30 mètres de rejet ont accompagné le tassement qui a suivi, et le bassin a été recoupé par de nombreux dykes de roches éruptives qui ont eu la plus grande influence et qui ont augmenté beaucoup la qualité du combustible. Le métamorphisme occasionné par la présence de ces dykes et des vapeurs d'eau surchauffée et des gaz qui ont accompagné leurs venues a été assez puissant pour transformer par places la houille en un coke naturel, trop

riche en soufre, en pyrites de fer et en autres impuretés pour avoir aucune valeur industrielle.

Les travaux de recherches ont été poursuivis avec plus de persistance et plus de méthode dans ce bassin que nulle part ailleurs dans les dépôts houillers des Montagnes Rocheuses, et de très nombreux forages ont prouvé l'existence de 40 veines différentes, dont seulement cinq sont exploitables. Trois de ces veines se rencontrent à la base et deux au sommet de l'étage de Laramie.

La houille dans la partie septentrionale du bassin est une qualité supérieure, excellente pour l'usage domestique, tandis que celle de la partie méridionale est exclusivement propre à fournir du coke. La houille dans la partie centrale du bassin est d'un type intermédiaire, qui s'agglutine trop facilement pour être avantageuse pour l'usage domestique et qui ne fournit pas de bon coke dans les fours à coke du type ordinairement employé. Une ligne du « Denver and Rio Grande » traverse la partie Nord du bassin. Plusieurs branches secondaires de cette Compagnie et d'autres du Colorado Southern vont chercher le charbon des différentes mines établies dans la partie centrale et dans la partie méridionale du bassin, tandis que la ligne principale du Santa Fé traverse son extrémité Sud. Une ligne particulière de la Compagnie « Colorado Fuel and Iron Co » relie la partie orientale du bassin avec ses usines à Pueblo. Cette partie orientale du bassin a été développée seulement durant les trois ou quatre dernières années, mais elle a été développée par une Compagnie puissante, qui a établi d'emblée une très large extraction.

Le *bassin de North Park* n'a qu'une importance très secondaire. Il occupe un large synclinal où le charbon a encore conservé en grande partie son caractère lignitique. On y rencontre, dans l'étage de Laramie, trois veines épaisses respectivement de 1 mètre et demi, de 5 mètres

et de 8 mètres, sans havages. Le bassin est en dehors des réseaux des différentes Compagnies de chemin de fer et n'est par suite pas du tout développé.

Le *bassin de Como* est formé par deux veines dans les grès de Laramie, épaisses de 1m,50 et de 2m,50 à 3 mètres. La veine la plus épaisse contient une bande de schiste près du sommet. Le charbon est d'une qualité excellente. La partie Nord du bassin est coupée par de nombreuses failles, et l'extrémité Sud est coupée par d'abondantes venues de roches éruptives. Le bassin est traversé par une branche du chemin de fer du Colorado Southern.

Les *bassins de Yampa et de Flat Top :* le bassin de Yampa est un des plus riches de l'État du Colorado, et il contient d'épaisses veines de charbon du même type que celle du bassin de Canyon City, une houille excellente pour l'usage domestique. Il contient aussi des veines de houille grasse propre à la fabrication du coke et des veines d'anthracite. .

Les veines de houille sont distribuées en trois groupes : l'un à la base, l'autre au milieu, et le troisième au sommet, de 400 à 500 mètres d'épaisseur de grès appartenant à l'étage de Montana. Le groupe inférieur comprend trois veines assez épaisses pour être exploitées, variant de 1m,50 à 2m,50 d'épaisseur. Le groupe du milieu de l'étage est formé par quatre veines exploitables, dont l'épaisseur varie de 1m,50 à 7 mètres, et le troisième groupe est formé par trois veines dont l'épaisseur varie de 2 mètres à 5 mètres.

Le bassin a été plissé en deux minces voûtes anticlinales, dirigées du Nord au Sud, parallèlement à la direction générale des Montagnes Rocheuses. Les crêtes anticlinales sont minces et longues, et elles sont séparées par de larges cuvettes synclinales où les couches sont presque horizontales. Les couches sont inclinées à moins

de 15° dans la plus grande partie du bassin, excepté près des crêtes anticlinales, où elles sont brusquement redressées à 45°.

La partie septentrionale du bassin a eu ses couches de combustible recoupées par des masses granitiques et par des laccolithes et des dykes porphyritiques qui ont transformé le charbon en un anthracite et une houille propre à fournir du coke.

Dans la partie méridionale du bassin, le charbon a conservé beaucoup plus complètement ses caractères primitifs et est un lignite de qualité supérieure.

Le petit bassin de Flat Top est une partie du bassin de Yampa qui en a été séparée plus tard par érosion. Il consiste en une superficie de 200 kilomètres carrés de grès de Laramie de 100 mètres d'épaisseur, et qui contiennent quatre veines de charbon épaisses de 1 mètre à 2 mètres. Sa proximité du bassin de Yampa empêchera toujours ce petit bassin de Flat Top d'avoir une valeur quelconque.

Le bassin de Yampa n'est encore relié avec le reste de l'État du Colorado par aucune ligne de chemin de fer, et pour le moment le tonnage extrait est presque nul. Mais on construit à présent la ligne du chemin de fer du « Denver and North Western », qui doit traverser de part en part le bassin de Yampa et le relier avec Denver et Salt Lake. Cette ligne de chemin de fer lui permettra de prendre le rang important auquel l'épaisseur de ses veines et la qualité de son combustible lui donnent droit de prétendre.

Le *bassin de Meeker, Newcastle, Crested Butte, Grand River and Wasatch Mountains* est un des plus importants du Colorado, et il forme le bassin le plus important de l'Utah. En réalité, c'est une zone charbonneuse plutôt qu'un bassin. Les couches y sont fortement redressées dans la partie septentrionale, entre Meeker et Crested Butte. Elles forment le flanc oriental de la chaîne cen-

trale des Montagnes Rocheuses, et les cours d'eau qui coupent cette zone charbonneuse en divers tronçons se déversent tous dans l'Océan Pacifique. La boucle que la bande de dépôts charbonneux forme au Sud de Grand River est une boucle synclinale qui comprend dans sa partie centrale une forte épaisseur de dépôts tertiaires sous lesquels les couches de combustible sont enfouies à une profondeur qui rend leur exploitation impossible. A l'Ouest de Grand River, les couches de charbon plongent de quelques degrés au Nord-Est, et elles longent le pied des murailles tertiaires qui dominent au Nord la large vallée de Grand River et se prolongent à l'Ouest dans l'Utah.

Le nombre des veines de charbon et leur épaisseur varient beaucoup. Au Nord de Grand River, entre Meeker et Newcastle, on en compte au moins quatre dont l'épaisseur varie de 2 à 4 mètres. A Newcastle, ces veines s'épaississent énormément et deux d'entre elles atteignent respectivement 10 et 20 mètres d'épaisseur. Les veines reconnues plus au Sud, à Coal Basin et à Crested Butte et Baldwin, sont beaucoup moins épaisses, et elles ont entre 1 et 3 mètres. Elles augmentent de nouveau en épaisseur plus à l'Est. Les veines épaisses de Newcastle ont été exploitées, il y a quinze ou vingt ans ; mais, le feu s'y étant mis, il a été impossible de le combattre avec succès et les mines ont été abandonnées.

Les mines les plus importantes de cette zone charbonneuse sont situées plus au Sud, dans une région très montagneuse, à Coal Basin et à Crested Butte et ses environs, à Anthracite, Floresta Baldwin. Cette partie de la bande charbonneuse a été élevée à une altitude de 3.000 mètres et plus par les puissants mouvements tectoniques qui ont édifié la chaîne centrale des Montagnes Rocheuses. Des venues éruptives nombreuses et considérables ont accompagné les mouvements tectoniques et ont coupé et recoupé les veines de charbon et les couches

encaissantes par des masses granitiques et par des dykes ou des laccolithes de porphyre. Ces roches éruptives ont métamorphisé non seulement les veines de combustible, mais aussi les grès et les schistes encaissants. Le lignite a été transformé soit en une houille grasse, excellente pour la fabrication du coke, soit en anthracite.

Le prix élevé de l'anthracite permet d'exploiter des veines de 75 centimètres d'épaisseur, tandis qu'une veine de lignite deux fois plus épaisse est encore trop mince pour être exploitable.

Le bassin de Crested Butte a quatre veines exploitables reconnues. Leur épaisseur varie de 1 mètre à $2^{m},50$. Les deux veines inférieures donnent de la houille grasse et les deux veines supérieures de l'anthracite.

Le bassin de Coal Basin est relié avec l'extérieur par une ligne de chemin de fer particulière qui appartient à la Compagnie de « Colorado Fuel and Iron C° », celui de Crested Butte par une branche du Denver and Rio Grande, et celui de Baldwin par une branche du Colorado Southern.

Aucune mine importante n'a été ouverte au Colorado dans cette zone houillère à l'Est du bassin de Crested Butte et Baldwin. Mais, au delà de la frontière du Colorado, dans l'Utah, cette même zone est activement exploitée à Sunnyside et à Castle Gate, comme nous le verrons plus loin.

Le *bassin de Tongue Mesa* est un petit bassin sans importance. Il contient deux veines : l'une épaisse de 3 mètres à la base, et une autre de $1^{m},50$, située 120 mètres plus haut, dans les grès de Laramie. Le bassin est éloigné de 10 kilomètres d'une branche du Denver and Rio Grande et de la ville de Montrose, de 5.000 habitants, qui lui sert de marché.

Le *bassin houiller de La Plata* est, avec celui de Yampa, le seul des bassins du Colorado dont les veines n'appartiennent pas à l'étage précédent, celui de Montana.

Le bassin a la forme d'un L renversé et, comme celui de Meeker, Newcastle, etc., il représente plutôt une zone charbonneuse qu'une cuvette synclinale.

Le bassin déborde faiblement dans l'État de l'Utah et dans les territoires de l'Arizona et du Nouveau-Mexique à son extrémité orientale, tandis qu'à son extrémité occidentale il fait un coude brusque, et il envoie une longue branche loin au Sud dans le Nouveau-Mexique.

La branche Est-Ouest de la zone charbonneuse comprend un grand nombre de veines exploitables qui, ensemble, fournissent une épaisseur totale de 28 mètres de combustible dans la partie centrale du bassin. Ces veines diminuent en qualité et en épaisseur vers les deux extrémités Est et Ouest de la zone charbonneuse.

Le charbon est une houille grasse propre à fournir du bon coke dans la partie centrale du bassin. Quoique aucune roche éruptive ne recoupe les veines dans ce bassin, celles-ci sont très voisines du puissant massif éruptif des montagnes de La Plata, et il ne semble pas douteux que l'influence de ce massif éruptif a été suffisante pour transformer fortement les caractères primitifs du lignite de ce bassin et produire à sa place une houille grasse de qualité supérieure.

La houille perd ses qualités de houille propre à fournir du bon coke à mesure que l'on s'éloigne du massif des monts de La Plata et se dirige soit à l'Ouest, soit à l'Est, vers les extrémités du bassin.

La bande charbonneuse est coupée en une série de tronçons par les cours d'eau qui descendent des monts de La Plata et qui s'écoulent au Sud. Ces cours d'eau ont mis à découvert les affleurements des diverses veines de combustible et rendent les travaux de recherche faciles.

Dans la partie occidentale et dans la partie centrale du bassin, on compte au moins quatre veines exploitables dont les épaisseurs varient de 1 mètre et demi à 4 mètres.

Dans la partie orientale, celles-ci sont réduites à deux veines, une de 1 mètre à la base, séparée par 23 mètres de grès de la veine supérieure, qui est épaisse de 2 mètres.

Le bassin est traversé par une branche à voie étroite du Denver and Rio Grande, et il est trop éloigné des centres importants de l'État pour pouvoir permettre une exploitation active. Les mines ont un marché local d'une certaine importance dans la ville de Durango et dans les usines métallifères du district de San-Juan. Les devis sont finis et les travaux sont en partie commencés pour l'établissement d'une ligne de chemin de fer Nord-Sud reliant ce bassin avec les importants districts miniers d'or et de cuivre du Nouveau-Mexique et de l'Arizona. Si ce projet aboutit, les mines de charbon du bassin de La Plata décupleront leur tonnage dans l'espace de quelques années.

Les bassins lignitifères de l'Utah. — Les bassins de l'Utah n'ont pas été l'objet des mêmes travaux de recherches que ceux des États voisins. Cela vient en partie du fait que l'Église des Mormons, qui a une influence prépondérante dans toutes les affaires de l'Utah, a systématiquement découragé les entreprises industrielles au profit de l'agriculture pure et simple. Seuls les bassins charbonneux situés directement sur des lignes de chemin de fer ont été partiellement exploités, et presque toujours par des capitalistes d'autres États. Durant ces dernières années, cependant, de puissantes Compagnies minières ont acquis de larges concessions de mines métallifères et ont aussi donné une forte impulsion à l'industrie houillère de l'Utah.

Les bassins de l'Utah appartiennent aux mêmes étages du crétacé supérieur qui contiennent du charbon dans le Wyoming et le Colorado; ce sont les étages de Dakota et de Laramie.

Comme la quantité de combustible qui peut être exploitée dépasse de beaucoup la demande, les bassins qui contiennent du charbon de qualité supérieure sont seuls exploités.

Le nombre des veines propres à fournir du coke est faible, et ce dernier est inférieur à celui produit dans les principaux bassins du Colorado.

Le *bassin de Wasatch* est la continuation de l'importante zone houillère du Colorado de Meeker, Newcastle, Grand River, etc. En entrant dans l'Utah, cette zone houillère suit le pied des murailles tertiaires des Book Cliffs sur 200 kilomètres et fait alors un coude brusque au Sud-Est, en suivant sur une centaine de kilomètres la base des monts Wasatch. Le petit bassin détaché et sans importance d'Ashley Creek a probablement fait partie de cette zone, à l'époque de sa formation.

La zone charbonneuse est exploitée à Sunnyside, près de la frontière du Colorado, à Castle Gate, à son extrémité Nord, là où elle fait un coude, et à Pleasant Valley, à son extrémité Sud-Est.

Les grès de Laramie, au milieu desquels ont été déposées les veines de charbon, ont une épaisseur de 800 mètres, et les veines de charbon sont confinées dans les 150 premiers mètres, à la base de l'étage.

L'on a reconnu cinq veines différentes à Sunnyside; les deux veines inférieures sont seules exploitables. La veine exploitée à Sunnyside varie de 2 mètres et demi à 3 mètres d'épaisseur. Cette partie du bassin a été coupée par une faille de 10 mètres de rejet.

Dans la partie plus orientale du bassin, l'on n'a reconnu que d'une à trois veines, et les mines de Castle Gate et de Pleasant Valley n'exploitent chacune qu'une seule veine. La houille de Castle Gate fournit du coke de seconde qualité. Les trois mines de cette zone houillère sont sur la ligne du chemin de fer du Rio Grande Western.

Le *bassin de Coalville* est situé tout près de la frontière du Wyoming. Il appartient à l'étage du Dakota, et il forme une mince et longue bande orientée du Nord-Est au Sud-Ouest. Il contient deux veines exploitables, l'une de 1 mètre et demi et l'autre de 3 à 4 mètres d'épaisseur. Le bassin est traversé par une branche de l'Union Pacific.

Le *bassin de Henry Mountains* forme un anneau autour du dôme anticlinal des montagnes qui lui donnent son nom. Ce bassin est éloigné de toute ligne de chemin de fer et a été peu développé. On y a trouvé une veine de houille de bonne qualité, épaisse de 1 mètre et demi.

Le *bassin de Cedar City* est situé dans la partie méridionale de l'État. Il contient plusieurs veines de 1 à 3 mètres d'épaisseur, exploitées seulement pour les besoins locaux ; le charbon contient une forte proportion de soufre, mais sa proximité de la Californie méridionale et des Champs aurifères de Nevada en permettra l'exploitation, si la ligne de chemin de fer de « Salt Lake-Los Angeles » construit une branche secondaire de 60 kilomètres entre sa ligne principale et la petite ville de Cedar City.

Les bassins lignitifères de l'Idaho. — Le seul bassin houiller de l'État d'Idaho qui ait quelque importance est celui qui a été découvert et développé en 1905. Il est situé à 33 kilomètres à l'Est de Saint-Anthony, la station terminale d'une branche secondaire du chemin de fer de l' « Oregon Short Line ».

Le bassin appartient au crétacé supérieur, probablement à l'étage des grès de Laramie. Les deux veines principales, qui ont respectivement 1m,80 et 3 mètres et demi d'épaisseur, ont été mises au jour à l'aide de puits peu profonds et de tunnels de quelque 100 mètres de longueur. On a reconnu leur existence sur une longueur

Le charbon est un excellent anthracite dans la partie septentrionale du bassin. Plus au Sud, elle devient une houille grasse.

Une des mines offre sur la même veine, et à mesure que l'on s'avance en profondeur, les trois types d'une houille excellente pour l'usage domestique, mais avec laquelle l'on ne peut pas fabriquer du coke, près de l'affleurement ; d'une houille propre à fournir du bon coke, et enfin, plus profondément, à l'extrémité du plan incliné, d'un coke naturel, mais trop chargé d'impuretés pour avoir une valeur industrielle. Ce coke naturel a été formé au voisinage et par la venue d'un dyke de roche éruptive.

Le *bassin de Tejon* est simplement une continuation de celui de Los Cerillos, dont il a été séparé par érosion, et il présente les mêmes caractères généraux. Cependant la qualité de la houille a encore diminué et celle-ci n'est plus propre à fournir du coke. On n'y a encore trouvé qu'une seule veine exploitable de $1^{m},20$ à $1^{m},80$. Ce bassin, comme les deux suivants de Jarillosa et de Carthage, n'a guère d'importance.

Le *bassin de White Oaks* a été découpé par l'érosion en six différents petits bassins. On y rencontre des veines de charbon dans les étages de Laramie et de Fort Union. On y a trouvé cinq veines dont l'épaisseur varie de 1 mètre et demi à 2 mètres. Le bassin a été recoupé par de nombreuses venues de roches éruptives, qui ont transformé le lignite en une houille d'excellente qualité pour l'usage domestique, en une houille grasse propre à fournir du coke, et en un anthracite, suivant les cas. Le bassin a été coupé par de nombreuses failles, qui, avec les dykes de roches éruptives à traverser, rendent l'exploitation des veines difficile et coûteuse.

Le bassin est traversé par une branche du chemin de fer de l'El Pazo et North Western.

Bassins houillers du Mexique. — Les bassins houillers du Mexique sont fort réduits. Il y a plusieurs bassins de houille grasse et d'anthracite dans la province de Sonora dans le Nord-Ouest du Mexique. Ces bassins sont d'âge crétacé, mais ils sont situés dans une contrée sauvage, loin de toute ligne de chemin de fer, et encore très peu connus.

Le seul bassin en exploitation est celui de Las Esperansas, dans la province de Coahuila.

Le *bassin de Las Esperansas* appartient à l'étage de Laramie. Il forme une large cuvette repliée en deux bassins synclinaux, celui de Las Esperansas et celui de Sabinas, séparés par une voûte anticlinale large de 3 kilomètres.

Les couches, inclinées à 6° dans la partie Nord, augmentent de plus en plus d'inclinaison vers le Sud, jusqu'à atteindre 70°. Une coulée de lave a recouvert le bassin dans sa partie Nord. On a reconnu une veine de houille exploitable, dont l'épaisseur varie de 2 à 4 mètres et qui contient de deux à cinq havages. La houille est propre à fournir du très bon coke.

Le bassin a pour marché toute la partie septentrionale du Mexique, et il est traversé par la ligne de chemin de fer « Mexican International ».

LES BASSINS LIGNITIFÈRES ET HOUILLERS DE LA CÔTE DE L'OCÉAN PACIFIQUE.

La zone géosynclinale qui comprend les bassins houillers de la côte du Pacifique (Pl. II) est bien moins connue que celle qui forme la bordure occidentale des Montagnes Rocheuses. Les bassins y sont d'âges plus divers et presque toujours restreints en étendue. Leur exploitation est encore presque nulle en Alaska, où cependant les

travaux de recherches ont été poursuivis avec méthode et avec une grande activité durant ces deux ou trois dernières années.

Dans l'île de Vancouver et dans les États de Washington et d'Orégon, leur exploitation est presque aussi ancienne que l'exploitation des couches de houille du Colorado et des États voisins, c'est-à-dire qu'elle a commencé il y a trente ans et qu'elle a continuellement augmenté depuis lors.

Le transport du charbon se fait par eau, le long de la côte. Ce n'est que pour de faibles distances à l'intérieur que le transport du charbon a lieu par voie ferrée. Ce transport par eau donne aux bassins de la côte du Pacifique une situation économique toute particulière, puisqu'ils ne dépendent plus des conditions qui, ailleurs, leur sont absolument imposées par des Compagnies de chemins de fer puissantes.

Cependant le caractère irrégulier des veines dans des bassins de faible étendue, la demande continuellement croissante de combustible dans un État très important qui ne fournit presque point de charbon, la Californie, et le coût élevé de la navigation le long de la côte du Pacifique, y ont maintenu le prix de la houille à un prix supérieur à celui payé pour la même qualité de combustible au Colorado et dans les États voisins.

On exploite seulement un bassin de peu d'importance en Californie et un autre en Orégon; mais l'État de Washington contient plusieurs bassins qui sont activement exploités. En Colombie Britannique, l'exploitation des bassins de l'île de Vancouver est très active. Les deux tiers du charbon extrait sont exportés en Californie et payent un droit de douane de 3 fr. 35 par tonne à l'entrée aux États-Unis.

Je vais passer en revue, dans quatre sous-chapitres, les bassins de la côte de l'Alaska, ceux des îles de la Colom-

bie Britannique, ceux de l'État de Washington et ceux d'Orégon et de Californie.

Bassins lignitifères et houillers de la côte de l'Alaska. — L'Alaska couvre un territoire immense, dont les différentes provinces varient beaucoup sous le rapport du climat et des autres conditions géographiques.

Quoique l'intérieur du pays se peuple avec rapidité et qu'il produise une large quantité d'or, ce n'est que sur la côte du Pacifique que les bassins charbonneux ont été étudiés avec quelque soin. L'on construit une ligne de chemin de fer entre Valdez, le port le plus septentrional ouvert à la navigation toute l'année, et Circle City, la ville la plus importante sur le Yukon, ce fleuve qui est comme une artère puissante dont les ramifications atteignent tous les camps miniers de l'Alaska. La ligne de chemin de fer mettra en rapports directs les bassins de combustible de la côte avec le reste du pays, et elle leur permettra de prendre un essor rapide durant les années prochaines.

La plupart des bassins de l'Alaska datent probablement de l'oligocène, et ils ne fournissent que du lignite. Leurs positions sont marquées sur la carte qui accompagne ce mémoire et, à moins que les travaux de développement ne montrent que quelques-uns d'entre eux contiennent du charbon de meilleure qualité, ces nombreux bassins ont peu d'avenir en comparaison de deux autres qui offrent un charbon de qualité très supérieure. Ces deux bassins privilégiés sont celui de Matanuska et celui de Comptroller Bay.

Le *bassin de Matanuska* est situé dans la partie inférieure du bassin fluviatile de la rivière du même nom. Il est distant de 45 kilomètres de la mer, qui forme l'échancrure profonde du golfe de Cook Inlet, dans lequel se jette la rivière de Matanuska. Ce bassin appartient pro-

bablement à l'étage du crétacé inférieur; il a été fortement plissé sur sa bordure. Les veines de houille qui affleurent à flanc de coteau le long des vallées creusées par les affluents latéraux de la rivière principale ont des inclinaisons qui varient de 10° à 85°.

On y a reconnu cinq veines principales dont les épaisseurs varient de 2 mètres à 12 mètres. La houille est une qualité de houille grasse propre à fournir du bon coke. Elle contient presque 70 p. 100 de coke, comme le montre l'analyse qui en a été donnée dans un chapitre précédent.

Le *bassin de Comptroller Bay* est situé à une distance de 20 à 30 kilomètres de la côte, et il couvre une étendue de 300 kilomètres carrés; la partie occidentale du bassin couvre les contreforts du mont Saint-Élie et montre les veines qui y affleurent à flanc de coteau. La partie inférieure du bassin, entre ces contreforts et la mer, est cachée sous une forte épaisseur d'alluvions glaciaires. La partie exploitable et reconnue par des travaux de recherches développés est resserrée entre le glacier de Baring et celui de Miles, qui tous deux descendent de l'imposante masse du mont Saint-Élie.

Le bassin appartient probablement à l'oligocène et ses couches ont un plongement général au Nord. Il en résulte que les couches dans la partie septentrionale du bassin contiennent un plus grand nombre de veines que celles dans la partie méridionale. Les travaux de recherches n'ont pas encore pris une grande importance; ils ont mis au jour l'existence de huit ou dix veines assez épaisses pour être exploitées avec profit. L'épaisseur de plusieurs d'entre elles varie de 3 à 8 mètres.

La qualité supérieure de la houille, qui est presque un anthracite, donne à ce bassin une importance toute particulière.

Bassins houillers des îles de la Colombie Britannique. — Les îles de l'archipel de la Reine-Charlotte et l'île de Vancouver contiennent d'importants bassins charbonneux. Les travaux de recherches seuls ont montré l'importance des veines des îles de l'archipel de la Reine-Charlotte, tandis que celles de l'île de Vancouver ont été largement exploitées depuis près de trente ans.

Les bassins de ces îles, aussi bien que ceux tout récemment explorés près de la côte, sur le continent, le long de la rivière Skeena, appartiennent à l'étage du crétacé inférieur, comme les bassins des « Little Belt » et « Judith mountains » au Montana et des Black Hills au Wyoming.

Le charbon de ces bassins n'a qu'un très faible marché local, et l'avenir de leur exploitation dépend de l'exportation du charbon en Californie et du développement de la navigation sur l'Océan Pacifique et entre la Colombie Britannique et l'Alaska. La nouvelle ligne du chemin de fer du « Great Trunk », qui, en descendant la rivière Skeena, doit aboutir à Port Simpson, a tout dernièrement attiré l'attention sur le bassin qu'elle doit traverser, et son développement est appelé à un bel avenir lorsque la ligne du chemin de fer sera construite et en exploitation. Les données exactes au sujet de ce bassin sont encore trop incomplètes pour qu'il soit possible de le décrire.

Le *bassin de l'archipel de la Reine-Charlotte* couvre la partie méridionale de l'île Graham, et il est traversé sur une distance de 20 kilomètres par la vallée de Yakoun. Les travaux de recherches ont déjà prouvé que le charbon existe en profondeur sous une étendue de 75.000 hectares. Deux veines principales ont été mises à découvert par les travaux de recherches ; l'une est une veine d'anthracite, épaisse de 3 à 5 mètres, tandis que l'autre veine, qui a une épaisseur analogue, contient une houille grasse propre à la fabrication du coke. La transformation de

lignite en houille grasse et en anthracite est due à la présence de roches éruptives qui abondent surtout dans la partie Sud-Ouest et Ouest de l'ile.

Les travaux de recherches exécutés dans d'autres parties de l'archipel n'ont pas encore donné des résultats suffisants pour permettre de savoir si d'autres îles contiennent des veines exploitables ou non.

Le bassin de l'ile de Graham, comme ceux de l'Alaska, est encore à la période de début, et il ne fournit aucune production régulière.

Les *bassins de l'île de Vancouver* sont au nombre de deux principaux et exploités. On a trouvé du charbon dans d'autres parties de l'île, mais les veines y étaient trop minces pour permettre une exploitation profitable, d'autant plus que le marché local est extrêmement restreint et que la plus grande partie du charbon extrait est exporté en Californie.

Les deux bassins exploités de l'ile de Vancouver sont ceux de Comox et de Nanaimo. Ils forment deux cuvettes productives dans un long et étroit synclinal qui s'étend le long de la côte occidentale de l'ile sur une longueur de près de 175 kilomètres, avec une direction parallèle à celle du rivage. Les couches du crétacé inférieur, riches en houille, sont séparées en deux bassins distincts par un anticlinal dont l'axe est perpendiculaire au synclinal principal.

Dans le bassin de Comox, l'on distingue quatre veines principales et exploitables, qui fournissent entre elles une épaisseur totale de charbon de 8 mètres ; ces veines sont placées au milieu de 32 mètres de couches encaissantes.

Dans le bassin de Nanaimo, l'on n'a rencontré que deux veines exploitables qui ont 1 mètre et demi à 4 mètres d'épaisseur; les variations en épaisseur sont rapides et varient du simple au double et même au triple dans la même mine.

La production de coke dans ces deux bassins est faible et la qualité du coke obtenu médiocre. Mais le combustible est un charbon gras excellent pour l'emploi dans les chaudières de machines à vapeur et pour l'usage domestique.

Les bassins lignitifères et houillers de l'État de Washington. — L'État de Washington est le seul des États-Unis, le long de la côte de l'Océan Pacifique, qui ait une production importante. Celle-ci a dépassé 3 millions de tonnes l'an passé.

Les bassins sont tous situés sur le versant du Pacifique des monts Cascade, à l'exception du plus important d'entre eux, celui de Rosslyn.

Les couches riches en charbon datent de l'éocène, et elles reposent la plupart du temps directement sur des micaschistes métamorphiques dont l'âge n'a pas encore été déterminé. Ce sont des grès et des schistes gréseux, qui, d'ailleurs, au point de vue lithologique, ressemblent absolument aux grès de Laramie et à ceux des autres étages qui contiennent du charbon dans les Montagnes Rocheuses.

L'on peut reconnaître cinq bassins principaux, à côté d'un nombre plus grand d'autres de moindre importance. Ce sont ceux de Whatcom, de Newcastle, de Franklin, de Wilkeson-Carbonado et de Rosslyn.

Le charbon dans l'État de Washington présente tous les termes entre un lignite et un anthracite. Les bassins sont restreints, fortement plissés, souvent coupés par des failles. Dans la plupart des cas, les couches riches en combustible sont recouvertes par un épais manteau d'alluvions glaciaires et par une abondante végétation, qui rend leur étude difficile et incertaine. Aussi n'est-ce que là où les travaux de recherches et d'exploitation ont été nombreux que les bassins charbonneux sont bien connus. Ces conditions, qui d'ailleurs se rencontrent dans tous les bassins

de la côte de l'Océan Pacifique, sont en contraste marqué avec celles qui caractérisent les bassins de la bordure occidentale des Montagnes Rocheuses. Là, au contraire, le climat désertique a mis au jour et à nu les veines de charbon et les roches encaissantes, et l'étude détaillée et complète de ces bassins est facile.

Les veines de charbon dans l'État de Washington ont été déposées souvent dans des eaux troublées, et la proportion de cendres est habituellement élevée. D'autre part, il y a eu de nombreux changements locaux dans les conditions de dépôt du charbon, et les veines contiennent parfois des havages qui changent rapidement en épaisseur sur une faible distance.

Le *bassin de Whatcom* est le plus septentrional de l'État. Sa partie centrale se trouve sur les deux rives du lac du même nom, mais il s'étend jusqu'à la mer à l'Ouest, et à l'Est il monte à une altitude élevée sur les contreforts du mont Baker.

D'une manière générale, l'on peut dire que la qualité du combustible augmente en allant de la mer vers l'intérieur des terres. Le combustible est un charbon gras, excellent pour les bateaux à vapeur, les usines et l'usage domestique. Elle ne fournit pas de bon coke.

Il est difficile de paralléliser des veines qui ont été mises au jour à de grandes distances. Mais il semble probable que le bassin contient quatre veines principales dont l'épaisseur varie de 1 à 6 mètres. Le bassin a été plissé en son centre par une voûte anticlinale dirigée du Nord au Sud. Il est situé au bord de la mer, ce qui lui donne l'avantage du transport par eau, et il est aussi traversé ou rejoint par les quatre lignes de chemin de fer du « Canadian Pacific », du « Great Northern », du « Northern Pacific » et du chemin de fer de « Bellingham Bay and British Columbia ».

Le petit bassin de Skagit est situé au Sud de celui de

Whatcom dans le comté voisin, mais il a peu d'importance.

Le *bassin de Newcastle* et celui de Gilman, aujourd'hui séparés, faisaient partie de la même cuvette lors du dépôt de leurs veines de charbon. Leurs relations n'ont pas été étudiées en détail. Le bassin comprend cinq veines épaisses de 2^m,30, de 1^m,70, de 2 mètres, de 5^m,30 et de 2^m,60, qui sont distribuées au milieu de plus de 300 mètres de grès et d'ardoises. Ce bassin est mis en relations avec Seattle par une branche du chemin de fer « Columbia and Puget Sound ».

Le *bassin de Renton* est très peu connu, excepté là où l'exploitation de la seule veine importante qui y ait été reconnue a permis de recueillir des données exactes. Le bassin a été fortement replié au moins en un synclinal aigu. La veine exploitée a une épaisseur de 1 mètre et demi à 2 mètres et demi, et elle contient deux ou trois havages.

Le bassin est traversé par une branche du « Columbia and Puget Sound ». Il est aussi relié à Seattle par le chemin de fer électrique « Seattle-Renton ».

Le *bassin de Black Diamond-Franklin* est situé au Sud-Est du précédent, et il est formé par un large synclinal replié en une voûte anticlinale secondaire dans sa partie centrale. La seule veine exploitée dans ce bassin, et appelée la veine McKay, a une épaisseur de charbon de 3 mètres, en dehors de trois havages qui portent l'ouverture de la veine à 4 mètres. La veine, dans les différentes parties du bassin, présente des inclinaisons qui varient de 20° à la verticale.

Le *bassin de Wilkeson-Carbonado* est un des plus importants et des plus fortement plissés. Une coupe perpendiculaire à la direction générale Nord et Sud de la cuvette synclinale dans laquelle les couches de charbon ont été déposées montre que celles-ci ont été repliées

au centre en deux anticlinaux normaux, entre deux autres anticlinaux, un sur chaque flanc, et qui ont tous deux leur jambage tourné vers l'intérieur de la cuvette coupé par une faille avec descente en bloc de la partie centrale de la cuvette synclinale.

Le bassin contient trois veines exploitables. Celles-ci ont toujours de deux à trois ou quatre havages, et leur épaisseur de houille varie de 1 mètre et demi à 3 mètres. Ces veines présentent de fortes inclinaisons, variant entre 3° et la verticale. La houille est d'une qualité supérieure, et elle fournit du bon coke. Comme c'est le seul bassin de la côte du Pacifique qui fournisse du coke de bonne qualité, cela donne à ce bassin houiller un grand avantage.

Le bassin est traversé par une ligne secondaire de la Compagnie « Northern Pacific ».

Le *bassin de Rosslyn* est traversé par la ligne principale du « Northern Pacific ». Il a été déposé dans un lac éocène dont les couches ont une épaisseur totale de 1.200 mètres. On y rencontre deux veines principales. La veine Rosslyn est la plus basse dans la série, et elle contient 1 mètre et demi de charbon, outre deux havages. La veine de Clealum est probablement à un horizon à peu près 100 mètres au-dessus de la précédente ; elle a la même épaisseur, mais elle ne contient pas de havage.

Le bassin n'a pas été fortement plissé, et les veines y ont une inclinaison qui varie de 5° à 20°.

L'État de Washington a plusieurs autres bassins, ceux de Tenino, de Chehalis-Centralia, de Cinebar, de Morton, de Packwood, de Davis et de Kelso ; mais ces bassin ne sont pas encore développés, tantôt parce que la qualité de leur combustible les empêche d'entrer en compétition avec le charbon de qualité supérieure des autres bassins, et tantôt parce qu'ils sont encore trop éloignés d'une ligne de chemin de fer.

Les bassins lignitifères d'Oregon et de Californie. — Les bassins de ces deux États sont tout à fait restreints, et les deux États sont des importateurs de charbon, surtout la Californie. L'Orégon reçoit la plus grande partie de son combustible de l'État voisin de Washington. A San-Francisco, toutes les houilles du monde sont en compétition, parce que certains bateaux apportent de la houille comme lest, soit d'Australie, soit d'Angleterre. Cependant la très grande partie de sa houille lui vient soit de l'État de Washington, soit de la Colombie britannique.

Les découvertes de pétrole de ces dernières années dans la Californie du Sud ont permis parfois de remplacer avec ce nouveau combustible une partie de la houille qui était importée auparavant. Mais, avec l'établissement de raffineries, le prix du pétrole brut a monté rapidement, et le commerce de la houille regagne le terrain qu'il avait momentanément perdu.

L'État de l'Orégon n'a qu'un bassin qui produise du charbon et, comme il est situé sur la mer et peut transporter son charbon par eau, il a pu se développer rapidement, malgré la qualité médiocre de son combustible.

Le *bassin de Coos Bay* forme une large cuvette synclinale qui a été repliée en une voûte anticlinale dans sa partie centrale.

On ne trouve pas de veine de lignite dans la partie centrale du bassin, parce que celle-ci a été enlevée par érosion et que les couches de l'étage inférieur affleurent à leur place dans la boutonnière ainsi formée. Dans la partie médiane du bassin, cette voûte anticlinale est flanquée à l'Ouest, du côté de la mer, par une double cuvette synclinale des couches lignitifères.

De l'autre côté, la voûte centrale est flanquée par les couches lignitifères qui ont été repliées en trois synclinaux secondaires parallèles. Ces synclinaux vont en s'aplatissant au Nord et au Sud, tout en recouvrant

la voûte anticlinale, qui, elle aussi, s'évanouit au Nord et au Sud. A ses deux extrémités, le bassin n'est formé que par un synclinal simple et unique.

Le bassin entoure le golfe qui lui donne son nom. Il contient une seule veine de lignite exploitable, dont l'épaisseur varie de 2 à 3 mètres et qui contient, suivant la place, deux ou trois havages. Outre l'avantage d'être sur un port de mer, le bassin de Coos est traversé par une branche secondaire du « Southern Pacific ».

Les *bassins lignitifères de Californie* sont au nombre de quatre, dont tout le produit est consommé par les marchés locaux. Le bassin le plus important est celui du mont Diavolo; il a 4 kilomètres de long, et il est situé à 55 kilomètres au Nord-Est de San-Francisco. Celui de Corral Hollow, qui représente probablement sa continuation vers le Nord, est moins important encore.

Le bassin de Ione, sur les contreforts de la Sierra Nevada, est peu éloigné du précédent; il couvre une étendue de 10 kilomètres carrés. Le quatrième bassin est fort peu étendu. Il est situé dans la partie méridionale de l'État, dans le comté de Riverside.

La mention de ces bassins termine l'étude géographique des bassins lignitifères et houillers des Montagnes Rocheuses. J'ai décrit une cinquantaine d'entre eux, tandis que leur nombre total s'élève entre soixante et soixante-cinq.

Le Service géologique des États-Unis vient de publier (*) des résultats très importants obtenus dans un laboratoire d'essais établi à Saint-Louis, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1903. Dans ce laboratoire, des lignites et des houilles des différents bassins charbonneux ont été soumis à de nombreuses expériences pour déterminer leur pouvoir calorifique et leur production d'énergie dans des ma-

(*) *U. S. Geol. Surv.*, Prof. papers, n° 48 ; 1906.

chines à vapeur et dans des machines à gaz. Ces expériences ont montré que, comme producteurs de gaz, les lignites des Montagnes Rocheuses et des plaines du Dakota et du Texas sont très supérieurs aux meilleures houilles de Pensylvanie. Une tonne de lignite traitée dans un appareil à fournir du gaz et employée dans une machine à gaz fournit la même quantité d'énergie en chevaux-vapeur qu'une tonne d'anthracite.

Plus un charbon a gardé son caractère de lignite et plus sa valeur comme générateur de gaz augmente. Ces recherches du Service géologique des États-Unis et leurs remarquables résultats permettent d'espérer un jour une active exploitation des couches lignitifères. Comme générateurs de gaz, ces lignites peuvent fournir un nombre de chevaux-vapeur deux fois et demi plus grand que lorsqu'ils sont brûlés sous une chaudière à vapeur, et ils peuvent fournir autant de chevaux-vapeur que de l'anthracite brûlé dans une machine à vapeur.

CHAPITRE TROISIÈME.

LES MÉTHODES D'EXPLOITATION.

Les lois qui régissent l'industrie minière, les précautions à prendre contre les accidents et les autres questions relatives à l'exploitation des mines de charbon dépendent de la souveraineté de chaque État, et le Gouvernement central des États-Unis n'a aucune autorité à ce sujet. Il s'ensuit que chacun des différents États des Montagnes Rocheuses a son code de lois qui règle les conditions de l'industrie de ses mines de houille. Chacun des États possède à présent un code de lois sur ce sujet, et les lois émises par les Gouvernements des divers États des Montagnes Rocheuses se ressemblent beaucoup.

Chaque État a d'habitude un inspecteur principal, avec un ou plusieurs assistants ; cet inspecteur est chargé de visiter les mines de houille sous sa juridiction, d'obliger les Compagnies à remplir les conditions imposées par la loi au sujet de la ventilation des mines et de la sécurité des ouvriers. Il recueille des données statistiques et doit fournir un rapport spécial en cas d'accident.

Ces inspecteurs sont nommés par le gouverneur pour la période durant laquelle il est au pouvoir, c'est-à-dire deux ans dans presque tous les États.

Comme le pays est à peine peuplé et qu'habituellement la surface du terrain au-dessus des mines n'a pas de valeur, la question de dédommagements en cas d'effondrements de la surface du terrain n'a qu'une importance très secondaire.

Lorsque la surface du terrain prend de la valeur, par suite du développement d'une ville au-dessus ou bien tout près d'une mine de houille, en général les propriétaires de la mine préfèrent la fermer et ouvrir une nouvelle mine dans une autre concession plus loin, comme cela a été le cas pour la mine située sous la ville de Bellingham, dans l'État de Washington.

D'après la loi, aux États-Unis, le propriétaire du sol a également droit aux richesses du sous-sol. La loi fait aussi une différence complète entre les concessions des mines métallifères et celles des mines de charbon. Il y a dans l'Ouest des États-Unis d'immenses espaces non cultivés ; ce sont les restes de ces vastes territoires vides qui, il y a un demi-siècle, ont été découpés entre les divers États. Chaque citoyen des États-Unis a le droit de s'y établir et d'obtenir une fois pour toutes une concession de mine de houille, et une seule, d'une superficie de 395 hectares. Dans certaines conditions, quatre citoyens ont le droit de se réunir et de prendre ensemble une concession de 1.580 hectares. Le concessionnaire doit prouver l'existence d'une veine de houille et acheter la conces-

sion des États-Unis dans un délai d'un an, au prix d'à peu près 20 fr. 65 l'hectare, si la concession est éloignée de plus de 24 kilomètres d'une ligne de chemin de fer déjà construite. Il doit payer le double de cette somme, ou 41 fr. 30, si la concession est plus rapprochée de la ligne de chemin de fer que cette distance.

Dans les premiers temps du peuplement du pays, alors que les pionniers ne cherchaient qu'à se livrer à l'élevage du bétail ou à l'agriculture, de nombreuses concessions agricoles ont été données.

Plus tard, on a reconnu l'existence de veines de charbon dans l'intérieur de leur sous-sol; ces veines de charbon appartiennent au propriétaire du sol. De vastes territoires ont aussi été concédés aux premières compagnies de chemin de fer qui ont établi des lignes transcontinentales, et les mines de combustible dans le sous-sol de leurs concessions leur appartiennent en propre.

Souvent ces propriétaires ne se soucient pas d'exploiter eux-mêmes leurs richesses minérales, et ils les cèdent à une Compagnie d'exploitation d'après un contrat particulier passé entre les deux parties intéressées, habituellement moyennant payement d'une somme fixe par chaque tonne de houille extraite. Cette redevance que la Compagnie d'exploitation paye au propriétaire du sol et du sous-sol varie entre 40 centimes et 1 franc par tonne de charbon extrait.

Les problèmes techniques que l'ingénieur doit résoudre pour la bonne exploitation des mines de houille des Montagnes Rocheuses sont simples et peu nombreux.

L'extraction du charbon coûte relativement bon marché, malgré les salaires élevés payés aux ouvriers, parce que les travaux en morts-terrains et ceux de boisage et remblayage sont réduits au minimum.

La très grande majorité des mines sont exploitées par des galeries creusées dans la veine elle-même, qui affleure

à flanc de coteau, si celle-ci est presque horizontale, ou bien par une galerie en plan incliné dans le cas où la veine est plus ou moins inclinée. Cette inclinaison n'est jamais forte, excepté dans les mines de l'État de Washington ; elle varie habituellement entre 5° et 25°.

Dans quelques bassins charbonneux comme celui de South Platte, au Colorado, par exemple, il est nécessaire de creuser des puits verticaux en mort-terrains pour aller rechercher la veine en profondeur. Mais, même alors, ces puits n'ont jamais qu'une profondeur variant entre 25 et 100 mètres et, dès que la veine est atteinte, tous les autres travaux sont de nouveau exécutés exclusivement dans la veine elle-même. Les veines que l'on exploite ont presque toutes une épaisseur suffisante pour permettre le passage des ouvriers, des wagonnets et des mulets, sans qu'il soit nécessaire d'enlever aucune partie de la roche, soit au toit, soit au mur; c'est une immense économie que de n'avoir à faire aucun travail en dehors de la veine elle-même.

Presque toutes les mines sont exploitées par le même système, appelé le système « par chambres et piliers ». Une galerie principale (Pl. IV, *fig.* 1), large de 3 mètres et ayant pour hauteur la hauteur de la veine, est dirigée suivant la ligne de plus grande pente de cette dernière vers la limite de la concession. Les conditions locales décident la place où cette galerie pénètre dans la veine, de manière à ce que, d'une part, elle soit aussi au centre de la concession que possible et, de l'autre, qu'elle parte d'un point de la surface favorablement situé pour l'emplacement des divers corps de bâtiments nécessaires à l'exploitation.

Une galerie parallèle, pour le retour de l'air vicié, est creusée en même temps que celle-ci, aussi dans la couche de houille et à une distance de 20 mètres de la première. Ces deux galeries sont reliées l'une à l'autre par une

troisième, qui traverse le pilier de charbon de 20 mètres qui les sépare, et les fait communiquer ensemble; une de ces galeries de communication est creusée tous les 25 ou 30 mètres. Naturellement, dans de nombreux cas, les chiffres que j'indique sont modifiés de manière à satisfaire aux conditions spéciales d'une mine donnée.

Si la veine est peu inclinée, deux galeries secondaires sont creusées perpendiculairement à la galerie principale tous les 100 mètres. Ces galeries secondaires ont aussi leurs galeries parallèles pour le retour de l'air, avec un pilier de houille de 20 mètres qui les en sépare et qui est aussi recoupé tous les 25 ou 30 mètres par une galerie de communication.

Ces galeries secondaires correspondent aux divers accrochages de la mine; le premier est à 100 mètres de l'entrée à la surface, le second à 200 mètres, le troisième à 300 mètres, et ainsi de suite. Ces galeries secondaires ont parfois 1 à 2 kilomètres de long. C'est sur elles que s'ouvrent les diverses chambres qui sont découpées dans la veine.

Comme la galerie principale suit d'habitude la ligne de plus grande pente, ces galeries secondaires sont parfaitement horizontales, tandis que les chambres sont creusées sur la pente de la veine, si celle-ci ne dépasse pas 15° au maximum, ce qui est le cas habituel.

Les chambres ont, en général, une largeur de 8 mètres, et elles sont séparées les unes des autres par des piliers de 5 mètres.

Elles commencent par une partie étroite de 2^{m},60 de large et 4 mètres de long; c'est comme qui dirait un couloir qui les relie à la galerie de roulage. Ce couloir étroit est nécessaire pour garder un pilier de houille de 4 mètres d'épaisseur qui protège la galerie de roulage; ce pilier est coupé par ces couloirs de 2^{m},60 de large tous les 13 mètres.

Au delà de ce couloir étroit vient la chambre proprement dite, qui est continuée dans toute sa largeur jusqu'à son extrémité. En général, elle est reliée avec les deux chambres voisines par une courte galerie d'aérage tous les 25 mètres. Cette courte galerie d'aérage coupe le pilier de 5 mètres qui sépare les deux chambres, et a d'habitude une largeur de 2 mètres.

Il arrive souvent que la chambre est creusée en même temps par ses deux extrémités. Dans ce cas, la galerie secondaire pour le retour de l'air est aussi transformée en une galerie de roulage, et des chambres y sont creusées en descendant sur la pente de la veine. Le plan de la mine est arrangé de façon à ce que la face de chacune de ces chambres rejoigne la face d'une chambre creusée depuis l'accrochage suivant et en remontant la pente de la veine. Les deux tiers inférieurs de la chambre sont creusés depuis l'accrochage inférieur, tandis que son tiers supérieur l'est depuis la galerie de retour d'air de l'accrochage supérieur.

Quand la chambre a été achevée, les équipes sont placées dans une autre plus loin le long de la galerie. On empêche alors l'air d'entrer dans la chambre finie, et on le conduit plus loin en fermant le couloir étroit qui donne accès de la galerie dans la chambre, par une cloison en bois qui sera enlevée pour être placée ailleurs au moment où l'on attaquera les piliers.

La voie ferrée pour les wagonnets est placée au centre de la chambre, et elle est protégée par une double rangée de montants placés de chaque côté, à 1 ou 2 mètres de distance, suivant la solidité du toit. C'est à cela que se réduit en général le boisage de la mine.

Lorsque toutes les chambres d'un accrochage ont été creusées, les piliers sont repris en partant de l'extrémité de la galerie et en reculant vers la galerie principale de roulage. A mesure que les piliers sont enlevés, le toit de

la veine s'effondre, et il se fait graduellement un tassement complet du sol sur cette partie de la mine.

Avec cette méthode, l'on obtient à peu près 80 p. 100 du charbon contenu dans la veine. Si elle semble peu économique, il faut admettre que cette méthode a l'avantage d'être très simple, et de permettre l'emploi de presque n'importe quelle qualité d'ouvriers, ce qui est très important dans un pays où le problème de la main-d'œuvre est le plus difficile à résoudre. Et comme, d'autre part, les bassins non encore exploités sont nombreux et très importants, on peut comprendre que la génération actuelle ne se préoccupe pas autant des générations futures qu'elle le devrait.

Dans les mines qui emploient un très petit nombre d'ouvriers, l'on se contente d'un aérage naturel; mais, dans toutes les grandes mines, l'on emploie un ventilateur; le plus souvent c'est un ventilateur aspirant à force centrifuge. Les lois fixent un minimum d'air par minute pour chaque homme et chaque mulet. Pour le Colorado, ce minimum est de 3 mètres cubes d'air pour chaque homme et 14 pour chaque mulet, par minute. Des quantités d'air semblables sont exigées par les autres États. Dans la pratique, la quantité d'air fournie est souvent au-dessus de ce chiffre, et parfois elle est trois et quatre fois plus grande.

L'introduction de haveuses mécaniques et de locomotives, soit électriques, soit à air comprimé, a été rapide durant ces dernières années.

Les mines ne divisent leur charbon qu'en un très petit nombre de catégories. Le plus souvent le charbon passe sur un crible à secousses, qui sépare les gros des menus, et la mine vend son charbon en trois catégories : gros, menus ou tout-venant. Les gros sont ce qui passe sur ce crible à secousses qui fournit une excellente séparation, très nette, et dont les trous ont un diamètre de 76 milli-

mètres. Parfois la Compagnie fait passer le charbon sur deux cribles successifs dont les trous sont respectivement plus petits et plus gros que dans le cas d'un seul crible et qui fournissent une catégorie intermédiaire de demi-gros ; mais elles ne subdivisent leur charbon qu'en quatre catégories au plus.

La majorité des mines exploitent des veines qui n'ont pas de havages ou bien dans lesquelles la séparation du charbon et de la roche est facile et se fait à la main. Cependant quelques-unes des mines qui exploitent des veines avec plusieurs minces havages, mais dont le combustible est d'une qualité supérieure, propre à fournir du bon coke, ont construit récemment des usines de lavage importantes et qui possèdent les derniers perfectionnements. C'est le cas de plusieurs mines du bassin de Trinidad-Raton, par exemple. Moins de 10 p. 100 des mines des Montagnes Rocheuses ont des usines de lavage.

Il n'y a qu'un petit nombre des bassins houillers des Montagnes Rocheuses qui fournissent de bon coke. Les Compagnies qui en exploitent les veines et qui fabriquent du coke ont leurs mines dans des districts montagneux, loin de tout centre de population. Il ne leur est pas avantageux de retenir les matières gazeuses contenues dans la houille et de produire du gaz d'éclairage et d'autres produits secondaires. Elles les laissent brûler sans profit dans les fours à coke du type « *beehive* » (four de boulanger), qui sont encore les seuls employés.

Presque tout le coke produit est employé dans les importants hauts fourneaux des usines de Pueblo, pour la fabrication du fer et de l'acier, et dans les nombreuses fonderies métalliques de plomb, d'or, d'argent, de cuivre et de zinc, qui ont une importance si considérable dans les Montagnes Rocheuses. Les autres industries et les habitants brûlent de la houille et non du coke dans leurs usines et dans leurs calorifères.

CHAPITRE QUATRIÈME.

ÉTUDE STATISTIQUE.

Il est difficile de comparer les données statistiques de bassins houillers aussi différents que ceux de la France et des Montagnes Rocheuses. Cependant quelques notions se dégagent avec tant de vigueur qu'elles attirent l'attention en dépit des différences locales.

La région des Montagnes Rocheuses forme la moitié d'un continent, et ses conditions géographiques et climatologiques la rapprochent plus de l'Algérie que de la France. Le pays subit un changement remarquable en ce moment. Les succès récents obtenus dans la mise en rapport d'immenses territoires grâce à l'irrigation, joints au fait que tout le terrain agricole de l'immense plaine des États-Unis est maintenant occupé et vient d'être fermé à l'immigration, promettent de donner un essor sans précédent à l'immigration dans les États des Montagnes Rocheuses et à leur peuplement durant les quinze ou vingt prochaines années.

En laissant de côté la Colombie Britannique, la superficie des États des Montagnes Rocheuses et de la côte du Pacifique est de plus de 3 millions de kilomètres carrés, ou près de six fois celle de la France. La population y est très clairsemée et n'atteint que près de 6 millions, ou moins d'un sixième de la population de la France. La population a augmenté de plus de 60 p. 100 durant les quinze dernières années, et tout fait prévoir qu'elle doublera durant les prochains dix ans.

Avec une population six fois moindre, la production et la consommation du charbon sont aussi grandes qu'en France; cela provient de la très grande quantité des industries minières et de l'importance des lignes ferrées, qui ont à passer de nombreux cols à des altitudes variant de 3 à 4.000 mètres, et aussi, mais dans une faible

mesure, de la consommation du charbon des bassins des Montagnes Rocheuses par les États agricoles situés à l'Est, tels que ceux du Kansas et de Nebraska.

Un examen du tableau de la production annuelle des bassins houillers des Montagnes Rocheuses et de la

TABLEAU I. — PRODUCTION DES BASSINS LIGNITIFÈRES ET HOUILL
DES BASSINS HOUILLERS FRANÇ

ANNÉES	COLOMBIE BRITANNIQUE	CALIFORNIE	COLORADO	WYOMING	WASHINGTON	UTAH	NOUVEAU-MEXIQUE	MONT
1860	14.100	—	—	—	—	—	—	-
1861	13.600	7.200	-	—	—	—	—	-
1862	17.900	25.700	—	—	—	—	—	-
1863	21.100	47.500	—	—	—	—	—	-
1864	28.400	55.700	500	—	—	—	—	-
1865	32.500	61.400	1.200	800	—	—	—	-
1866	24.900	85.300	6.400	2.500	—	—	—	-
1867	29.900	126.500	17.200	5.000	—	—	—	-
1868	43.600	145.800	10.600	6.900	—	—	—	-
1869	35.500	158.400	8.000	49.700	—	—	—	-
1870	29.500	144.000	13.600	106.300	18.900	—	—	-
1871		154.700	15.700	148.700	20.000	—	—	-
1872	147.400	193.700	69.100	225.000	23.000	—	—	-
1873		189.300	70.500	263.500	26.000	—	—	-
1874	79.800	218.500	78.000	222.200	30.800	—	—	-
1875	109.000	169.100	99.500	305.300	100.800	—	—	-
1876	137.800	129.800	119.200	330.300	111.900	50.000	—	-
1877	153.500	109.300	162.400	347.900	122.600	50.000	—	-
1878	169.100	136.300	203.100	338.200	133.600	68.200	—	-
1879	238.900	147.900	327.500	406.900	144.700	228.200		-
1880	264.900	195.300	443.400	535.600	146.600	228.000	—	-
1881	226.100	127.600	718.200	637.400	169.900	228.000	—	-
1882	279.300	114.300	1.077.300	718.200	179.800	253.700	159.200	-
1883	211.100	76.800	1.248.000	791.100	248.500	254.000	214.500	19
1884	390.100	78.100	1.147.000	916.100	169.300	254.000	223.800	81.
1885	212.900	72.300	1.376.200	819.300	385.900	216.300	310.700	87.
1886	323.400	101.500	1.388.700	841.600	429.800	275.200	275.200	50.
1887	409.200	50.700	1.808.500	1.197.800	733.400	515.500	515.500	10.
1888	479.800	96.800	2.228.900	1.502.700	1.234.000	635.900	335.900	2.
1889	568.400	123.600	2.635.900	1.410.600	1.045.900	493.100	494.100	370.
1890	664.700	112.400	3.123.100	1.398.400	1.288.500	381.200	381.200	527.
1891	1.008.600	94.700	3.565.300	2.361.600	1.071.900	469.200	469.200	552.
1892	809.900	86.400	3.563.500	2.541.300	1.231.500	670.200	670.200	575.
1893	958.800	73.200	4.163.800	2.475.700	1.283.700	674.900	674.900	910.
1894	992.700	68.200	2.956.000	2.453.500	1.122.300	606.000	606.000	945.
1895	921.000	76.500	3.140.200	2.280.500	1.209.200	731.400	731.400	1.534.
1896	878.400	79.100	3.159.000	2.263.900	1.213.300	631.900	631.900	1.574.
1897	865.200	89.100	3.415.800	2.636.600	1.455.500	727.500	727.500	1.680.
1898	1.113.200	147.900	4.137.300	2.906.700	1.912.700	1.007.000	1.007.100	1.509.
1899	1.280.300	163.600	4.853.700	3.894.700	2.060.100	1.066.400	1.066.400	1.526.
1900	1.410.900	175.500	5.322.900	4.074.700	2.511.000	1.318.500	2.318.500	1.694.
1901	1.431.100	154.500	5.805.600	4.552.500	2.616.700	1.102.700	1.102.700	1.423.
1902	1.369.500	88.300	7.512.300	4.495.700	2.721.400	1.064.300	1.064.300	1.594.
1903	1.144.900	104.900	7.891.500	4.704.600	3.238.100	1.564.800	1.564.800	1.518
1904	1.652.000	80.400	6.878.000	5.096.800	2.949.100	1.594.400	1.645.200	1.386
1905	—	48.800	8.066.700	5.202.000	2.906.000	1.625.800	1.606.000	1.001

France pour les quinze dernières années met en relief la marche progressive rapide des premiers, tandis que celle des bassins français a été beaucoup plus lente. Ce fait est encore mieux mis en évidence dans le diagramme des courbes de production annuelle qui accompagne ce mémoire

MONTAGNES ROCHEUSES EN TONNES MÉTRIQUES, AVEC LA PRODUCTION
UIS 1885 POUR COMPARAISON.

GON	ALASKA	NORD	PAS-DE-CALAIS	LOIRE	GARD	BOURGOGNE et NIVERNAIS	TARN ET AVEYRON
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	—	3.583.000	6.127.000	3.001.000	1.728.000	1.501.000	1.093.000
5.000	—	3.910.000	6.463.000	2.831.000	1.739.000	1.479.000	977.000
8.200	—	4.198.000	7.119.000	2.930.000	1.831.000	1.497.000	1.076.000
5.000	—	4.416.000	7.877.000	3.185.000	1.851.000	1.594.000	1.147.000
5.500	—	4.719.000	8.614.000	3.378.000	2.009.000	1.726.000	1.234.000
2.700	—	5.135.000	9.076.000	3.587.000	2.055.000	1.915.000	1.453.000
2.800	—	4.863.000	8.621.000	3.823.000	2.192.000	1.977.000	1.552.000
5.200	—	4.637.000	9.802.000	3.543.000	2.061.000	1.946.000	1.311.000
2.400	—	4.707.000	9.180.000	3.507.000	2.006.000	1.979.000	1.420.000
8.300	—	4.983.000	10.633.000	3.364.000	2.060.000	2.061.000	1.479.000
75.000	—	5.010.000	11.110.000	3.484.000	1.984.000	2.074.000	1.476.000
03.700	—	5.202.000	11.871.000	3.578.000	1.889.000	2.166.000	1.551.000
09.200	2.000	5.524.000	12.807.000	3.750.000	1.894.000	7.203.000	1.635.000
59.100	1.600	5.699.000	13.588.000	3.912.000	1.974.000	2.341.000	1.781.000
88.400	1.200	5.660.000	14.201.000	3.858.000	2.011.000	2.045.000	1.844.000
50.800	1.200	5.669.000	14.595.000	4.022.000	2.045.000	2.010.000	1.700.000
70.200	1.300	5.336.000	14.354.000	3.867.000	2.038.000	1.656.000	1.851.000
66.800	2.100	5.077.000	13.185.000	3.106.000	1.958.000	1.901.000	1.589.000
92.900	2.000	5.889.000	16.192.000	3.699.000	1.960.000	1.995.000	1.821.000
13.700	80.200	5.906.000	15.812.000	3.599.000	1.833.000	1.975.000	1.783.000
14.700	86.100	—	—	—	—	—	—

(Pl. IV, *fig.* 2) et qui offre une représentation graphique saisissante du phénomène.

La courbe de la production des bassins du Nord et du Pas-de-Calais coupe la courbe de la production totale des bassins des Montagnes Rocheuses, et, quoique la production de ces deux bassins français ait augmenté de plus de 50 p. 100 en quatorze ans, elle ne peut se comparer avec celle des bassins des Montagnes Rocheuses, qui a passé de 9.500.000 tonnes en 1890 à 26 millions de tonnes en 1905, c'est-à-dire a augmenté de 282 p. 100.

Le contraste entre la courbe représentant la production des bassins français autres que ceux du Nord et du Pas-de-Calais et celle des bassins du versant occidental des Montagnes Rocheuses, qui la coupe, offre un contraste encore plus grand.

Tout semble promettre que la production des bassins charbonneux des Montagnes Rocheuses continuera d'augmenter dans l'avenir dans une proportion au moins égale à celle du passé, et il ne serait nullement surprenant de voir l'année 1920 marquée par une production de 100 millions de tonnes.

Il est difficile d'estimer d'une manière exacte l'étendue des bassins charbonneux des Montagnes Rocheuses, parce qu'une partie du pays est encore peu connue et que de nouveaux bassins sont encore découverts de temps à autre. Des auteurs dignes de foi donnent le chiffre de 113.386 kilomètres carrés, soit un cinquième de l'étendue de la France, pour la superficie des bassins charbonneux des Montagnes Rocheuses, et ils estiment le tonnage exploitable à 33 milliards de tonnes.

Si nous passons de la production totale à la production par ouvrier par jour ou par année, et au nombre de journées de travail, une étude comparative donne des résultats intéressants, qui montrent combien les mines de charbon des Montagnes Rocheuses se trou-

vent dans des conditions extraordinairement favorables.

Le nombre des journées de travail par année en France est de 1 à 10 p. 100 plus fort que dans les mines des Montagnes Rocheuses.

Par contre, au lieu de moins d'une tonne par jour, qui est la production moyenne d'un ouvrier en France, un ouvrier mineur, dans les Montagnes Rocheuses, produit de 1,33 à 4,63 tonnes de charbon par jour, soit de 30 à 35 p. 100 en plus.

La raison en est simple. Les mines de houille, en France, sont obligées de remblayer, tandis que, dans les Montagnes Rocheuses, où les Compagnies minières possèdent la surface du sol aussi bien que le sous-sol et où, dans la plupart des cas, la surface du sol n'a qu'une valeur nominale, elles laissent le toit de la veine s'effondrer après que la houille a été extraite et ne font aucun travail de remblayage. Le tassement naturel du sol leur suffit. Une autre conséquence est le coût très inférieur de la houille sur le carreau de la mine, en dépit de salaires extrêmement élevés payés aux ouvriers.

Ces différentes données statistiques sont tirées des tableaux suivants (*) :

TABLEAU II. — PRODUCTION JOURNALIÈRE PAR OUVRIER (**).

PAYS	1899	1900	1901	1902	1903	1904
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
France	0,742	0,721	0,681	0,670	0,706	0,689
Californie	1,69	1,61	1,33	1,47	1,88	1,69
Colorado	2,16	2,92	2,78	3,48	3,20	3,20
Montana	2,86	3,04	3,18	3,28	2,99	2,27
Nouveau-Mexique	2,56	2,69	2,14	2,91	3,70	3,51
Oregon	3,24	1,69	1,76	1,20	1,64	0,54
Utah	4,38	4,63	3,20	3,26	3,35	3,76
Washington	2,59	2,60	2,26	2,43	2,99	2,80
Wyoming	4,25	4,23	3,87	3,74	4,05	3,55

(*) Les tonnes employées sont la tonne métrique partout, excepté dans les tableaux IX et X, dans lesquels la « short ton » de 2.000 livres est employée. Le dollar est toujours calculé comme valant 5 francs.

(**) Les statistiques sont données pour les ouvriers de la surface et du fond, sans distinction, partout où une exception à cette règle n'est pas expressément mentionnée.

TABLEAU III. — PRODUCTION ANNUELLE PAR OUVRIER.

PAYS	1899	1900	1901	1902	1903	1904
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
France	213	206	197	182	209	199
Californie	486	499	385	446	566	478
Colorado	732	772	706	908	884	812
Montana	683	768	711	885	760	703
Nouveau-Mexique	660	701	481	623	968	878
Oregon	771	458	401	272	423	154
Utah	1.162	1.039	849	948	960	889
Washington	669	741	623	669	737	682
Wyoming	1.109	1.125	958	927	1.020	940

TABLEAU IV. — NOMBRE DE JOURNÉES DE TRAVAIL PAR OUVRIER.

PAYS	1899	1900	1901	1902	1903	1904
France	283	286	290	271	296	289
Californie	287	308	289	302	301	282
Colorado	246	264	253	261	245	261
Montana	238	252	231	270	254	243
Nouveau-Mexique	257	261	224	217	260	228
Oregon	238	273	228	234	258	284
Utah	265	246	259	259	248	294
Washington	259	289	276	275	285	243
Wyoming	261	266	248	248	252	262

TABLEAU V.

PRIX MOYEN DE LA TONNE SUR LES LIEUX D'EXTRACTION.

PAYS	1899	1900	1901	1902	1903	1904
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
France	12.41	14.94	15.69	14.55	14.01	13.30
Alaska	92.00	92.00	85.00	94.00	120.00	65.00
Californie	15.60	17.00	14.00	17.10	15.60	24.10
Colombie Britannique	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Colorado	6.05	6.05	6.10	6.10	6.70	6.55
Montana	8.60	8.90	7.95	8.95	8.90	8.05
Nouveau-Mexique	7.60	7.50	7.70	7.80	7.45	6.55
Oregon	16.50	20.35	13.75	13.30	13.25	10.90
Utah	6.90	6.85	6.85	6.15	6.60	6.50
Washington	9.70	10.35	9.05	9.35	9.25	8.00
Wyoming	6.75	7.35	7.30	6.45	6.75	6.50

Des résultats analogues sont naturellement exposés dans les deux tableaux suivants :

TABLEAU VI. — NOMBRE DES OUVRIERS EMPLOYÉS DANS LES MINES.

PAYS	1899	1900	1901	1902	1903	1904
Nord et Pas-de-Calais	80.319	84.521	85.929	88.288	91.895	97.147
Bassins des Montagnes Rocheuses	24.337	26.879	29.503	28.716	29.566	30.153
Californie	369	378	428	217	208	168
Colombie Britannique	3.780	4.178	3.974	4.011	4.264	4.453
Colorado	7.166	7.459	8.870	8.956	9.229	8.123
Montana	2.378	2.376	2.158	1.938	2.155	2.505
Nouveau-Mexique	1.250	2.037	2.478	1.849	1.789	1.849
Oregon	124	141	187	265	235	734
Utah	743	1.308	1.712	1.826	1.924	1.374
Washington	3.330	3.670	4.545	4.404	4.768	5.287
Wyoming	5.697	5.332	5.115	5.250	4.993	5.660

Les tableaux suivants, qui donnent le pourcentage de houille transformée en coke et la proportion de charbon minée à l'aide de haveuses mécaniques, ont un caractère trop spécial pour que j'aie cherché à faire une comparaison avec les statistiques de la production des bassins français. Les données de ces tableaux sont extraites des documents publiés par le Service géologique des États-Unis.

TABLEAU VII. — PROPORTION DE CHARBON PRODUIT MINÉE A L'AIDE DE HAVEUSES MÉCANIQUES.

PAYS	1899	1900	1901	1902	1903	1904
Colorado	11.03	14.42	5.60	11.58	17.11	14.21
Montana	56.38	62.89	53.64	44,31	46,58	35,54
Nouveau-Mexique	24.81	8.62	24	6,84	9.40	6,89
Utah	—	—	1.11	4.81	4.46	2,28
Washington	72	40	25	—	—	—
Wyoming	9.27	15.05	20.01	23.35	27.93	20.35

TABLEAU VIII. — QUANTITÉ DE COKE PRODUIT PAR LES BASSINS HOUILLERS DES MONTAGNES ROCHEUSES.

PAYS	1889	1900	1901	1902	1903	1904
Colorado et Utah	583.400	680.500	738.400	1.103.600	1.159.100	789.060
Montana	57.200	61.900	60.100	58.700	49.600	41.497
Nouveau-Mexique	48.500	48.100	45.700	25.500	12.100	18.673
Washington	33.300	37.100	55.000	44.300	50.100	45.432

Tableau IX. — Fabrication du coke dans les États des Montagnes Rocheuses.

		COLORADO ET UTAH	MONTANA	NOUVEAU-MEXIQUE	WASHINGTON
1899	Nombre d'usines	12	3	2	2
	Nombre de fours	1.343	203	126	90
	Tonnes de houille employées	988.000	121.200	70.900	55.800
	Proportion de coke obtenue	59 p. 100	51 p. 100	64,3 p. 100	59.8 p. 10
	Valeur totale du coke produit	6.668.800 fr.	1.780.900 fr.	496.000 fr.	756.000 fr
	Valeur de la tonne de coke	12,55 fr.	31.60 fr.	11,25 fr.	24.90 fr.
1900	Nombre d'usines	13	3	3	3
	Nombre de fours	1.488	342	126	90
	Tonnes de houille employées	1.097.500	60.100	81.600	59.700
	Proportion de coke obtenue	62 p. 100	50.3 p. 100	60.3 p. 100	61.5 p. 10
	Valeur totale du coke produit	8.733.600 fr.	1,685.300 fr.	651,000 fr.	805.500 fr
	Valeur de la tonne de coke	14.10 fr.	30.75 fr.	14.50 fr.	23.95 fr.
1901	Nombre d'usines	15	3	2	4
	Nombre de fours	2.060	328	126	148
	Tonnes de houille employées	1.263.700	723.100	79.500	86.100
	Proportion de coke obtenue	58.4 p. 100	35.4 p. 100	58.5 p. 100	62.7 p. 1
	Valeur totale du coke produit	8.113.000 fr.	1.686.900 fr.	591.500 fr.	1.495.000
	Valeur de la tonne de coke	12.10 fr.	29,55 fr.	14,00 fr.	24.25 fr.
1902	Nombre d'usines	15	3	2	5
	Nombre de fours	3.010	410	126	231
	Tonnes de houille employées	1.764.600	58.700	44.900	57.300
	Proportion de coke obtenue	59.2 p. 100	53.7 p. 100	56.9 p. 100	58,8 p. 10
	Valeur totale du coke produit	13 771.500 fr.	1.801.400 fr.	370.000 fr.	995.500 fr
	Valeur de la tonne de coke	13,70 fr.	33,75 fr.	15,85 fr.	24.70 fr.
1903	Nombre d'usines	16	4	2	6
	Nombre de fours	3.555	555	126	256
	Tonnes de houille employées	1.854.600	90.300	20.400	80.400
	Proportion de coke obtenue	59.3 p. 100	54.9 p. 100	59.4 p. 100	67.4 p. 10
	Valeur totale du coke produit	15.448.915 fr.	1.554.410 fr.	157.695 fr.	1.073.880
	Valeur de la tonne de coke	14.65 fr.	34.45 fr.	14,25 fr.	23.55 fr.
1904	Nombre d'usines	15	4	2	6
	Nombre de fours	3.419	520	134	256
	Tonnes de houille employées	1.376.354	78.503	—	76.993
	Proportion de coke obtenue	57.3 p. 100	53.0 p. 100	71.8 p. 100	59 p. 10
	Valeur totale du coke produit	12.951.255 fr.	1.463.725 fr.	—	1.038.785
	Valeur de la tonne de coke	16.50 fr.	[illegible] fr.	—	22.8[illegible] fr.

Le tableau VII, qui donne la proportion de houille minée avec l'aide de haveuses mécaniques, montre bien combien les opérations minières sont souvent encore conduites au petit bonheur. Les machines sont introduites sans que le problème de leur introduction ait été sérieusement étudié, et le soin est laissé à la pratique de démontrer si leur introduction répond ou non à un besoin réel.

Le seul État où elles aient eu un succès continu est celui du Wyoming, où les veines sont épaisses et presque horizontales.

Les Associations ouvrières luttent souvent contre l'introduction des haveuses mécaniques.

Les tableaux de statistique des accidents sont très en faveur de la France, comme le prouve le tableau X.

TABLEAU X. — STATISTIQUE DES ACCIDENTS SURVENUS DANS LES MINES DE HOUILLE.

		FRANCE *	COLOMBIE BRITANNIQUE	COLORADO	MONTANA	NOUVEAU-MEXIQUE	UTAH	WASHINGTON	WYOMING
1899	Nombre de mineurs tués	179	11	42	—	—	0	—	—
	Nombre de mineurs blessés		59	108	—	—	34	—	—
	Nombre de morts sur 1.000 mineurs employés	1,35	2,91	5,11	—	—	0		—
	Nombre de tonnes extraites pour chaque vie perdue	182.800	118.700	114.927	—	—	0	—	—
1900	Nombre de mineurs tués	189	17	29	—	—	209	.	—
	Nombre de mineurs blessés		81	70	.	—	63	—	
	Nombre de morts sur 1.000 mineurs employés	1,42	4,07	3,98	—	—	159,78	.	—
	Nombre de tonnes extraites pour chaque vie perdue	176.500	93.598	189.508	—	—	5.904	—	-
1901	Nombre de mineurs tués	133	102	55	7	9	9	27	41
	Nombre de mineurs blessés	122	65	81	—	11	12	82	12
	Nombre de morts sur 1.000 mineurs employés	1,21	25,66	6,30	3,24	3 63	5,26	5,94	7,96
	Nombre de tonnes extraites pour chaque vie perdue	243.000	16.583	103.637	203.400	135.281	146.957	95.489	109.309
1902	Nombre de mineurs tués	151	139	73	12	17	8	34	190
	Nombre de mineurs blessés	222	39	105	14	27	17	54	24
	Nombre de morts sur 1.000 mineurs employés	1,09	34,62	8,15	6,19	10,00	4,38	7,70	3,00
	Nombre de tonnes extraites pour chaque vie perdue	157.400	11.821	101.384	130.069	66.644	196.815	78.040	23.313
1903	Nombre de mineurs tués	144	42	40	5	15	7	25	
	Nombre de mineurs blessés	331	59	110	37	—	35	83	
	Nombre de morts sur 1.000 mineurs employés	1,02	9,88	3,86	2,58	8,35	3,63	5,20	
	Nombre de tonnes extraites pour chaque vie perdue	242.400	35.283	194.382	273.680	109.680	226.050	127.619	
1904	Nombre de mineurs tués	153	37	89	9	5	9	31	
	Nombre de mineurs blessés	283	57	118	30	—	61	34	
	Nombre de morts sur 1.000 mineurs employés	1,24	8,29	8,26	3,58	2,34	6,53	5,86	
	Nombre de tonnes extraites pour chaque vie perdue	223.332	45.559	76.141	114.177	321.500	180.550	93.742	

(*) Les statistiques pour la France sont établies pour les ouvriers du fond, excepté les pourcentages du nombre de morts par 1.000 ouvriers employés, qui sont donnés pour tous les ouvriers sans distinction ; toutes les statistiques américaines sont données pour les ouvriers de la surface et du fond sans distinction.

CHAPITRE CINQUIÈME.

CONCLUSIONS.

Un certain nombre de conclusions intéressantes ressortent naturellement des pages qui précèdent. C'est d'abord l'âge particulier des dépôts charbonneux, qui sont échelonnés de la base du crétacé supérieur à l'oligocène. C'est ensuite la grande différence dans la qualité du combustible de deux bassins voisins, ou même de différentes parties d'un même bassin. Ces différences sont dues à un métamorphisme, soit tectonique, soit volcanique, mais toujours localisé et circonscrit.

Une autre condition bien mise en évidence est le très grand nombre des bassins charbonneux et la vaste étendue de territoire qu'ils occupent. J'ai montré également les facilités d'exploitation offertes par des veines peu inclinées et qui affleurent à la surface du sol, de manière que tous les travaux peuvent être faits dans la veine de charbon elle-même, et quel immense tonnage peut être extrait par les méthodes les plus simples et les moins coûteuses.

Les conditions géographiques sont naturellement variées dans un pays qui s'étend de la latitude du Sud du Maroc à celle de l'Islande et du Groenland. L'on peut cependant diviser le pays en deux grands groupes. L'un comprend la région aride des plaines et la contrée semi-désertique des plateaux intérieurs, coupés par les différentes chaînes des Montagnes Rocheuses. L'autre groupe est formé par la côte du Pacifique.

Par suite d'un concours de conditions favorables, ces deux groupes couvrent ensemble la partie des États-Unis qui est destinée à recevoir, durant les prochains vingt

gisements, car il était à peu près impossible de pénétrer, et surtout de séjourner, dans les régions de l'Ouest et de l'Est, chez les Sakalaves et les Tanalas, et dans le Centre les rois hovas avaient strictement interdit la recherche et l'exploitation du métal précieux.

Cette interdiction avait cependant été levée en 1883. Peu après son avènement au trône, la Reine Ranavalona, aujourd'hui en exil à Alger, supprima du code malgache la peine de mort que ses prédécesseurs y avaient inscrite contre quiconque se livrerait au travail de l'or. Le premier ministre, Rainilaiarivony, fut l'inspirateur de cet acte ; il avait besoin de se créer des ressources pour la lutte contre les Français, qui devenait de jour en jour plus aiguë. Mais il n'autorisa pas la libre prospection. Afin que l'État et lui-même eussent le plein bénéfice qui en résulterait, il organisa les travaux en régie directe avec les agents du gouvernement, et les Européens continuèrent à être tenus à l'écart. Les déceptions ne se firent pas attendre, beaucoup d'or se perdait entre les chantiers d'extraction et les caisses de Tananarive; les indigènes, travaillant par corvée, soumis à un régime fort dur, mal nourris, encore plus mal payés, ne montraient aucune bonne volonté, produisaient très peu et même tâchaient de dissimuler les gisements dont ils pouvaient avoir connaissance. Aussi Rainilaiarivony se vit-il bientôt contraint d'essayer d'une autre méthode : accorder des concessions aux étrangers. Il ne pouvait plus guère, d'ailleurs, résister à la pression qu'exerçaient sur lui à ce sujet depuis longtemps les Légations anglaise et française.

La première concession fut instituée vers la fin de 1886 en faveur d'un de nos compatriotes, M. Suberbie. Elle portait sur une région très étendue autour de Mevatanana, dans le Bouéni (Voir la carte, Pl. V). Suivirent : en 1888, la concession Talbot, dans le pays d'Ankavandra et d'Analabe ; en 1891, la concession Rigaud, dans le Vakinanka-

ratra, au Nord du Betsileo ; en 1893, la concession Harrison Smith, dans le pays Antsianatra; enfin, en 1894, la concession Shervington, dans la région d'Amboanana, au Sud d'Arivonimamo. En substance, les conditions étaient que le Gouvernement fournirait la main-d'œuvre, ou au moins en faciliterait le recrutement, assurerait la sécurité, et recevrait en échange une proportion déterminée des bénéfices de l'entreprise. Dans les deux derniers contrats, le ministre s'engageait, en outre, à verser une partie des fonds de premier établissement nécessaires.

Les résultats furent médiocres. Ni l'État ni les concessionnaires n'exécutèrent les clauses qui leur incombaient. Les exploitations prévues ne se créèrent pas. Seul M. Suberbie réussit à produire une quantité d'or appréciable, environ 900 kilogrammes, mais en six ans et avec un grand nombre d'ouvriers travaillant à la batée des alluvions superficielles. Bref, au moment de l'expédition française, la connaissance positive des gisements aurifères malgaches restait nulle, et les légendes conservaient toute leur vitalité (*).

Aussitôt Tananarive prise, commença un mouvement d'exploration que le grand soulèvement de l'Imerina ralentit à peine. Anciens résidents européens dans l'île et nouveaux venus de France et d'ailleurs se répandirent de tous côtés, recueillirent les informations indigènes et demandèrent des concessions. En même temps des ingénieurs, envoyés par des syndicats financiers, parcouraient le pays.

L'opinion de ces ingénieurs fut vite connue; elle était unanimement défavorable: la valeur de Madagascar avait été fort exagérée : il ne s'y trouvait pas de gisements sérieux, en particulier pas de filons, seulement des allu-

(*) Les détails qui précèdent sont empruntés au rapport de M. le Capitaine du génie Mouneyres, chef du service des mines de Madagascar, qui est inséré dans les *Annexes* au dernier rapport du Général Gallieni.

vions pauvres et peu étendues, incapables de faire vivre une entreprise un peu importante. Deux ou trois tentatives d'exploitation industrielle ayant, par là dessus, échoué complètement, la méfiance devint générale; capitalistes et financiers cessèrent de s'occuper des dépôts aurifères malgaches.

Cependant le mouvement local, loin de s'arrêter, allait prenant chaque année une ampleur plus grande. En 1897, la production d'or était seulement de 72 kilogrammes, et en 1898 de 124 kilogrammes; en 1899, elle atteignait déjà 386 kilogrammes. Les districts miniers primitifs s'agrandissaient de plus en plus, et de nouveaux s'ouvraient chaque jour. Aux régions du Centre et de l'Ouest, où s'étaient jusqu'alors localisées les recherches, vint s'ajouter, en 1899, la zone forestière de l'Est, qui, rapidement, les dépassa en importance. C'est là que furent découvertes, à partir de 1900, les riches vallées de l'Ampasary, du Sakaleona, du Fanantara, du Mangoro, de la Beanandrambo et bien d'autres. La production s'éleva à 1.114 kilogrammes en 1900, 1.045 kilogrammes en 1901, 1.295 kilogrammes en 1902, 1.910 kilogrammes en 1903. Ce n'était plus quelque chose de négligeable. L'attention publique se porta à nouveau sur l'île. L'opinion antérieurement émise sur ses ressources aurifères fut de plus en plus considérée comme inexacte. Sans doute il ne s'agissait toujours que d'alluvions; mais d'abord les dépôts se révélaient beaucoup plus étendus qu'on ne l'avait supposé, et ensuite dans ces alluvions, et aussi parmi les pierres éparses sur les collines, on trouvait des quartz contenant de l'or, quelques-uns même très riches. Il fut souvent, il est vrai, impossible de découvrir les gisements en place d'où provenaient ces quartz. On y parvint cependant en quelques endroits. Il existait donc bien des filons. Des recherches par puits, galeries ou descenderies commencèrent de divers côtés, tandis que l'exploitation de l'or alluvion-

naire continuait à se développer: en 1904, la production monta à 2.460 kilogrammes.

En avril 1905, les journaux publient une note d'allure officielle : un véritable filon, d'une richesse remarquable et d'une longueur que l'on a toutes raisons de croire très grande, vient d'être découvert à Ampasimbe, dans la zone forestière de l'Est, à 15 kilomètres de Beforona, village important sur la route de Tamatave à Tananarive, à côté même de la route et non loin du chemin de fer ; il y a 400.000 tonnes reconnues ; la teneur est de 60 grammes à la tonne ; l'or est renfermé dans des pyrites qui imprègnent des quartzites ; il y a beaucoup de quartzites dans l'île ; il ne faudrait pas généraliser trop vite et conclure que partout ils sont riches en or. — Du moins pouvait-on légitimement espérer que ce gisement de Beforona ne serait pas le seul.

L'intérêt que cette nouvelle excita dans le public fut considérable. La spéculation s'occupait du reste de cette affaire depuis quelque temps déjà. A la Bourse de Lyon, les actions des deux Sociétés en cause, l'Anasaha et le Syndicat Lyonnais, avaient monté dans des proportions énormes, et, à leur suite, les autres valeurs malgaches. Sur ces entrefaites, le bruit se répandit qu'un prospecteur de l'île, M. Lecomte, venait de vendre à des financiers de Johannesburg, moyennant deux millions et demi de francs, dont la moitié en espèces, les concessions qu'il possédait dans les environs de Fianarantsoa, la capitale du Betsileo. Il ne s'agissait pas d'un filon, mais d'une sorte de brèche de quartz et de calcaire, très riche en or, à ciment ferrugineux, parfois un peu cuivreux, se trouvant au-dessous d'une assise de cipolins. Comme cette assise s'étendait sur une superficie considérable, il devait y avoir là un gisement colossal, renfermant des milliards. — Cette fois les pouvoirs publics s'émurent ; le Ministre des Colonies prit une mesure fort grave : il interdit toutes

recherches et prospections nouvelles tant que n'aurait pas été promulgué un autre règlement minier protégeant mieux les droits de l'État, c'est-à-dire imposant des taxes plus élevées.

La spéculation et l'agitation ne pouvaient cependant durer toujours. Tandis qu'à Lyon les cours se tassaient en attendant des informations plus précises sur le filon d'Ampasimbe, le Ministre, revenant sur sa première décision, autorisait la continuation des recherches et l'enregistrement par le Service des Mines des demandes de permis, de manière que les droits de priorité fussent sauvegardés ; mais il stipulait que les concessions à s'ensuivre seraient régies par les dispositifs du décret en préparation.

Bientôt des rumeurs fâcheuses commencèrent à circuler. On disait que la teneur du filon de Beforona avait été estimée beaucoup trop haut, que les terrains avaient été « salés » et les acheteurs transvaaliens trompés. Peu à peu ces bruits prirent plus de consistance. Les prospecteurs étrangers, accourus en grand nombre de l'Afrique du Sud aux premières nouvelles de découvertes importantes, s'en retournaient les uns après les autres, déçus et lassés, criant leur déconvenue, proclamant qu'il n'y avait rien à faire à Madagascar. Les missions qu'avaient envoyées de nombreux syndicats français et étrangers repartaient aussi, généralement découragées. L'inquiétude gagnait tout le monde. La vérité se fit jour en décembre : aucun examen sérieux n'avait eu lieu sur les terrains Lecomte, ni avant ni après l'achat, de sorte qu'il était aussi hasardeux d'affirmer que les terrains ne valaient rien qu'il l'avait été de prétendre avoir affaire à un gisement colossalement riche ; il y avait de l'or, personne n'en pouvait douter, mais il fallait considérer comme fort probable que la richesse et surtout l'étendue du gîte étaient moindres qu'on n'avait bien voulu le dire ou le laisser entendre ; à Beforona,

la teneur était décidément médiocre en moyenne, mais la longueur du filon grande; on pouvait espérer y découvrir des parties riches; au surplus, les conditions d'exploitation n'étaient pas mauvaises; bref il y avait lieu de continuer les recherches.

Ce n'était pas là ce qu'on avait escompté, et de pareilles informations ne pouvaient restaurer la confiance. Les financiers se désintéressèrent complètement de Madagascar et de ses mines. A Lyon, les actions malgaches, qui avaient beaucoup baissé, tombèrent encore, et bientôt personne ne s'en occupa plus. Aujourd'hui la méfiance est universelle; on entend dire partout qu'il n'y a pas d'or à Madagascar.

Il n'en faut rien croire, et tout n'est pas fini. Le mouvement de recherches n'a pas cessé là-bas, pas plus que ne l'avait fait, il y a huit ans, le mouvement d'exploration, quand les capitalistes de la métropole s'en retirèrent; il est seulement ralenti. Il aboutira à une connaissance, cette fois réelle, des gisements. Et il serait étrange qu'aucun ne pût être fructueusement exploité. Nous allons dire ce qu'on sait aujourd'hui sur leur compte et nous verrons quels sont les pronostics qu'on peut faire d'après leurs caractéristiques générales.

Gisements alluvionnaires. — La totalité de l'or que produit, à l'heure actuelle, Madagascar sort des gisements alluvionnaires. Ces gisements sont modernes: ils occupent les fonds des vallées, et quelquefois les versants, jusqu'à un certain niveau. On ne connaît pas d'alluvions anciennes, du moins pas en gîtes étendus. Il y a seulement, dans un petit nombre de districts, des restes de terrasses accrochés à diverses hauteurs sur les flancs des vallées.

Ces gisements se répartissent entre trois régions, qui sont, par ordre d'importance:

La zone forestière de l'Est, le long de la côte depuis Diégo-Suarez jusqu'à Fort-Dauphin; la partie vraiment productive, quant à présent, de cette bande, ne dépasse guère Fénérive au Nord et Mananjary au Sud; pour 1904, la région a fourni la moitié environ de la récolte totale.

Le pays autour de Miandrivago et d'Ankavandra, dans l'Ouest, avec des prolongements, au Sud vers Midargy, au Nord, en suivant l'inflexion de la côte, vers Mevatanana.

Le Centre, de part et d'autre de la ligne Tananarive-Fianarantsoa : les dépôts aurifères de ce dernier groupe n'ont guère donné en 1904 que le sixième de la production.

Les parties extrêmes Nord et Sud de l'île sont encore fort peu connues, surtout le Sud; la population y est très clairsemée. Il est possible qu'on y découvre plus tard des gîtes intéressants.

Dans ces trois rayons, les caractères généraux des gisements sont les mêmes. La couche qui renferme l'or se rencontre à des profondeurs variables, parfois à fleur de sol, d'autres fois enfouie sous plusieurs mètres de stérile, sables, terres ou graviers. Elle se compose de cailloux roulés, d'argile et de sable, en proportions diverses. La couleur diffère suivant la roche originelle; avec les pegmatites elle est blanche, rouge brun ou jaune avec les roches basiques et ferrugineuses, gris teinté de vert ou bleuâtre avec les schistes. Les galets sont surtout de quartz; en moyenne, leur grosseur ne dépasse pas celle du poing. La consistance est faible : une simple bêche suffit pour l'exploitation; au pis aller il faut une pointe d'acier pour désagréger les parties les plus dures.

L'or se trouve, dans ces alluvions, à l'état natif, en paillettes, petites plaques, grains plus ou moins roulés, pépites relativement volumineuses. La proportion de poudre vraiment fine dans la production actuelle est, on

peut dire, nulle. C'est assez normal: on n'a jusqu'à présent exploité que les hautes vallées, tout au plus a-t-on touché en quelques points aux zones moyennes. Les grosses pépites, d'autre part, sont rares. Il n'en a jamais encore été rencontré de très importantes ; la plus considérable, à notre connaissance, n'atteint pas 500 grammes. En bien des endroits, on recueille de l'or de couleur brillante, soit en paillettes allongées ou en plaquettes minces et déchiquetées, soit en grains à arêtes vives : le gisement originel n'est alors, à coup sûr, pas éloigné.

Avec l'or, reste au fond des batées du sable noir abondant, qui consiste en magnétite, tourmaline, fer titané, ou, plus exactement, rutile impur, et, sans doute aussi, fer chromé. L'une ou l'autre de ces espèces minérales domine suivant la nature de l'alluvion. Par exemple, pour celles qui dérivent des pegmatites, la presque totalité du sable noir est de la tourmaline.

Avec le sable noir, il reste aussi des fragments de pyrite assez fréquemment, et de petits morceaux plus ou moins roulés de tourmaline noire, rose, rouge, jaune ou verte, de grenats, de zircons de toutes couleurs, de corindon pierreux, de rubis et de saphirs, de rutile, de béryl bleu, de topaze, etc. Jusqu'à présent, à peu près personne n'accordait d'attention à ces résidus. Quelques prospecteurs ont commencé tout récemment à les recueillir et à les trier ; ils y trouveront probablement des pierres susceptibles d'être vendues : ce sera un appoint, peut-être assez sérieux dans quelques cas, à leurs bénéfices sur l'or. L'abondance extrême des tourmalines, noires et colorées, est remarquable. Il faut la rapprocher du grand développement des pegmatites dans toute l'île. Au reste les minéraux qui viennent d'être énumérés sont ceux qui accompagnent généralement ces roches.

Il a été trouvé avec l'or, dans certains districts, des grains d'étain métallique. Ces grains proviennent-ils

d'une réduction naturelle d'affleurements de cassitérite lors des incendies annuels des hautes herbes, ou seulement de la fusion, pendant ces mêmes incendies, des soudures des boites de conserve jetées au hasard dans la brousse par les voyageurs européens? La question ne sera nettement résolue en faveur de l'existence de gisements d'étain que lorsqu'on aura trouvé de la cassitérite dans les batées. Personne ne s'est encore avisé de l'y rechercher sans doute : il y a du reste peu de temps que la présence de grains d'étain métallique dans l'alluvion aurifère a été constatée. On peut dire, en attendant, que l'existence de gîtes d'étain est assez probable, étant donnée l'abondance des pegmatites, et sachant surtout que de la cassitérite et des grains d'étain se rencontrent en d'autres pays, en même temps que l'or, dans des dépôts alluvionnaires tout à fait analogues à ceux de Madagascar.

Les débris des roches d'où dérivent les alluvions n'ont pas tous été entraînés jusque dans les thalwegs. D'ailleurs les agents atmosphériques continuent leur œuvre de destruction. Aussi, dans les régions aurifères, les collines sont-elles couvertes d'un manteau de terres caillouteuses qui contiennent de l'or. On conçoit parfaitement qu'en certains points ces terres puissent constituer des gisements exploitables. En fait, on a trouvé de tels gisements. D'autre part, les pluies de chaque saison en font descendre périodiquement une partie dans les vallées. Il se produit de la sorte un véritable enrichissement annuel, et il ne serait pas impossible que certaines vallées fussent susceptibles d'être réexploitées avec bénéfices après quelques saisons de repos. C'est un point intéressant à étudier.

Exploitation. — L'exploitation de ces gisements se fait d'une manière bien simple : le concessionnaire, ou prospecteur, fait venir des indigènes sur ses terrains et les y

laisse travailler à leur guise, sous la seule condition qu'ils lui vendront, au prix de 2 francs le gramme, tout l'or qu'ils trouveront.

Ces indigènes, on les recrute dans les villages de l'Imerina et du Betsileo, parties centrales de l'île, les seules où la population ait quelque densité. Les recruteurs sont quelquefois le prospecteur lui-même, le plus souvent des gens à sa solde, indigènes en général. Ils font des discours sur la place publique, les jours de marché, dans lesquels ils annoncent l'ouverture prochaine à l'exploitation des terrains de M. un tel, vantent leur heureuse situation dans un pays agréable et sain, où le riz est abondant, affirment leur grande richesse en or, énumèrent les avantages de toute sorte dont y jouiront les travailleurs, exaltent la personnalité du blanc qui sera le chef, etc., et surtout ne ménagent pas les plaisanteries. Quand ils ont terminé, ils reçoivent les engagements de ceux que leur éloquence a séduits. Il s'en trouve toujours, d'autant plus qu'il ne s'agit nullement de partir tout de suite : le recrutement se fait pendant l'hivernage, en décembre ou janvier, et la descente sur les concessions nouvelles ne commence guère qu'en avril, après les pluies, quand la récolte du riz est faite.

Les indigènes arrivent avec leur famille, tout au moins avec leur femme. Ils commencent par se construire une case sur l'emplacement désigné. Toutes ces cases, régulièrement disposées autour ou à côté de l'habitation du blanc, forment le village, ou camp minier, le « toby » comme on dit là-bas en employant le mot malgache (prononcez *toubi*). Ce « toby » porte toujours un nom indigène, qui lui est donné par les indigènes ; on le désigne aussi par l'appellation de « toby d'un tel ». Les toby sont installés sur des hauteurs, afin d'éviter autant que possible les fièvres et les épidémies. Dans la région forestière de l'Est, où les collines sont trop escarpées pour qu'il

soit possible de s'installer sur leurs pentes, ils occupent les crêtes et consistent en une longue rue, tout en haut de laquelle se trouve la maison du prospecteur. En octobre, quand la saison sèche touche à sa fin et qu'arrive le moment de repiquer le riz, les camps se vident peu à peu; certains sont entièrement abandonnés jusqu'à la fin de l'hivernage, par exemple dans l'Est, car les pluies continues et très abondantes et les hautes eaux qui s'ensuivent gènent tout à fait la circulation et empêchent les approvisionnements. D'ailleurs le travail devient alors à peu près impossible. Dans le Centre et l'Ouest, où ces inconvénients n'existent pas, certains toby particulièrement bien placés, au milieu de bons districts aurifères, sont de vrais villages permanents, habités par un noyau de population stable, autour duquel vient se grouper, à chaque saison, un contingent variable de travailleurs.

Le prospecteur ne donne pas d'ordres à ses indigènes. Il n'a, à proprement parler, aucun droit sur des gens qui ne sont pas salariés; il jouit de plus ou moins de prestige ou d'influence, selon sa personnalité, voilà tout : il règne, mais ne gouverne pas, au moins pas directement. Il agit, quand il le faut, par l'intermédiaire des commandeurs. Ces commandeurs sont des indigènes, mais des indigènes posés, possédant de l'autorité parmi leurs concitoyens; chacun a avec lui un certain nombre d'hommes qu'il connait, qu'il a recrutés lui-même souvent, qui sont de son pays, de son village, et dont il est en quelque sorte responsable; cependant il ne leur donne pas d'ordres, lui non plus, à peine quelques indications, il les laisse parfaitement libres de s'installer où il leur plait et de travailler comme il leur convient.

Les indigènes choisissent donc eux-mêmes l'emplacement de leurs fouilles et conduisent celles-ci à leur gré. Chacun opère pour son propre compte. Il n'y a association et travail en commun que quand il le faut absolument.

soit pour enlever un manteau de stériles d'une grande épaisseur, dont la tranche s'éboulerait si elle restait trop longtemps libre, soit pour amener de l'eau sur les chantiers, soit, au contraire, pour épuiser celle qui les envahit. Dès qu'elle n'est plus strictement indispensable, l'association disparaît : par exemple, dès que la couche alluvionnaire est atteinte et peut être enlevée, ou, au plus tard, pour le lavage. Mais l'indigène ne travaille pas seul : sa femme est toujours avec lui ; il extrait les terres à or, elle les lave. Partage de la besogne équitable en somme, puisque la partie qui demande le maximum d'efforts physiques reste à l'homme ; il ne faudrait pas croire toutefois que ce soit une sinécure et un plaisir pour la femme que de rester courbée sur sa batée tout le jour, sous l'ardent soleil, dans l'eau jusqu'aux genoux, avec bien souvent un bébé attaché sur son dos.

Les seuls outils employés sont : l'« angady », sorte de bêche étroite et longue, très bien adaptée au travail des terres et que l'indigène manie avec une dextérité surprenante ; le « tsolo », pointe d'acier pour la désagrégation de la couche aurifère, s'il y a lieu, souvent fixée à l'autre extrémité du manche de l'angady ; enfin, la batée en bois. Cette batée, d'une contenance d'environ 10 litres en moyenne, a la forme d'un segment de sphère muni d'un petit rebord vertical chez les Hovas et les Betsileos, et celle d'un cône à angle relativement aigu chez les peuplades de l'Est et de l'Ouest.

Les travaux portent, soit sur les alluvions et les sables dans le lit même de la rivière, et alors le découvert à faire est peu important, 1 mètre à $1^{m},50$ au plus, mais l'épuisement est difficile, soit sur les alluvions qui se trouvent sous les berges, et alors le découvert est plus considérable — il l'est même quelquefois trop pour les moyens dont disposent les travailleurs, — mais l'invasion de l'eau est moins violente. Dans certaines vallées, la couche exploi-

table se prolonge sous les berges suivant un plan horizontal et s'arrête en avant des premières pentes des collines; dans d'autres, elle remonte sur les versants. Dans le premier cas, il faut enlever toutes les terres avec l'angady et laver à la batée la totalité de la couche; dans le second, on peut utiliser la pente et employer l'eau, d'abord à enlever le recouvrement, ensuite à concentrer l'alluvion. C'est le procédé de travail connu sous le nom de sluices sur terre (*ground sluicing*). Les indigènes savent fort bien l'employer partout où le permet la disposition du terrain. Dans la région du Centre, notamment, on en peut voir des installations parfaites. La précision et l'habileté avec lesquelles sont établis les canaux d'amenée d'eau, longs parfois de plusieurs kilomètres, sont remarquables. Les Malgaches, comme tous les peuples cultivateurs de riz, excellent dans l'art d'aménager et d'utiliser les eaux.

Ces exploitations, à l'angady, ou par sluices sur terre, se font toutes sans plan d'ensemble, sans reconnaissance préalable, sans entente entre les divers chantiers. Les indigènes sont incapables de concevoir pourquoi il faudrait procéder méthodiquement, et le prospecteur ne se préoccupe pas de faire leur éducation à ce point de vue. Aussi les gisements sont-ils passablement gaspillés. Ici, les stériles, rejetés sur les côtés ou en arrière, viennent recouvrir des terrains aussi bons que ceux d'où ils sortent et les rendent inutilisables; là, des éboulements se produisent, et les ouvriers abandonnent la place, tout simplement; ailleurs, ils se découragent à cause de la trop forte épaisseur du recouvrement; bref, il s'en faut bien que tout ce qui pourrait être exploité, même par eux, le soit effectivement. Les fortes pluies et les crues remettent, il est vrai, un peu d'ordre dans le chaos : les terres sont emportées au loin, les excavations comblées, les monticules de débris enlevés, les sables remaniés complètement, de

telle sorte qu'à la nouvelle saison on peut recommencer à produire de l'or en des points où il n'y avait pas à songer auparavant à s'installer. Mais, à mesure que le lit de la rivière s'élargit par la destruction des berges et s'encombre de débris, les crues deviennent de moins en moins efficaces pour cette réfection annuelle.

Il reste donc, finalement, de la couche aurifère primitive, des parties assez riches qui n'ont pu être enlevées. Il en reste d'autres encore, moins riches, auxquelles les indigènes n'ont pas touché parce que la teneur n'en est pas assez forte pour leur assurer un gain journalier convenable. Tout cela, sans doute, pourra un jour fournir la base d'exploitations industrielles, mais c'est en attendant perdu pour le propriétaire de la concession.

Comment se fait-il que ce propriétaire ne s'efforce pas de tirer un meilleur parti de ses terrains? Pourquoi n'en dirige-t-il pas effectivement l'exploitation, et n'impose-t-il pas à ses indigènes l'observation d'un plan méthodique supprimant tout gaspillage? A cela il y a plusieurs motifs.

D'abord le prospecteur n'est le plus souvent prospecteur que de nom. Rarement il possède quelque connaissance minière. Dans son camp, il s'occupe de la comptabilité, de la pesée de l'or, des approvisionnements, du recrutement; il fait des tournées aux environs et des voyages dans d'autres districts, pour recueillir des renseignements et prendre de nouveaux permis; il visite et reçoit ses voisins; mais, s'il se promène parfois à travers les chantiers, ce n'est pas pour étudier la nature et la valeur de son gisement, ni la façon dont il devrait être exploité, c'est seulement pour exercer une vague surveillance et surtout pour se distraire et passer le temps. Le gisement, il ne le connait pas du tout quand il en demande la concession; il s'est basé sur des informations indigènes pour planter son poteau-signal, quelquefois sans rien vérifier, d'autres fois après un contrôle sommaire au moyen d'essais

rapides, qu'il a, du reste, rarement surveillés lui-même et qui consistent en lavages faits par une douzaine d'hommes sous les ordres d'un commandeur ; la richesse des terrains se déduit de la comparaison du poids d'or recueilli avec le nombre des journées de travail. — Il importe, il est vrai, souvent de faire vite et de ne pas se laisser devancer. — Quand il est en possession, il ne cherche pas à se rendre compte de ce qu'il a, non pas seulement parce qu'il manque de connaissances spéciales, mais aussi, et peut-être surtout, parce qu'il manque de capitaux. Il ne pourrait pas attendre qu'une étude de ses terrains fût faite, moins encore en payer les frais. Il faut qu'il produise de l'or, et le système qu'il a adopté est excellent à ce point de vue.

Bien des personnes ont recommandé, et même tenté, l'emploi de sluices, s'imaginant à coup sûr que le sluice est un appareil jouissant de la propriété merveilleuse d'extraire à peu près gratuitement et très vite la totalité de l'or se trouvant dans un endroit déterminé. Cela n'a conduit qu'à des pertes, parfois considérables, sauf une ou deux exceptions. C'est que les alluvions, prises en masse, sont trop pauvres pour laisser des bénéfices si on les manipule à la main, tandis que les parties qui s'y trouvent d'une teneur suffisante sont trop disséminées et d'une étendue trop faibles pour que les réinstallations et les transports fréquents des appareils ne fassent pas bien vite disparaître tout profit. Sans compter que, pour pouvoir employer convenablement des sluices, il faut avoir fait une reconnaissance, une prospection un peu poussée, du dépôt aurifère. Cette prospection, le concessionnaire ne peut pas la faire faire parce qu'il manque d'argent, et il ne pourrait l'exécuter lui-même, en admettant qu'il en eût l'idée, à cause des conditions climatériques : Madagascar n'est pas un pays où l'Européen puisse impunément remuer et laver des terres.

Le procédé actuel d'exploitation indigène à la batée présente donc des avantages considérables pour les prospecteurs : il les dispense de toute reconnaissance préalable, réduit au minimum leurs chances de perte et enfin ne nécessite que des capitaux très faibles. L'or est rassemblé une fois ou deux par semaine, plus même, s'il le faut; il est très pur et réalise immédiatement sa pleine valeur à la banque : le fonds de roulement se trouve par conséquent réduit à bien peu de chose; et quant aux avances à faire, elles sont peu importantes : les taxes minières, les approvisionnements, les constructions à payer, et surtout les petites sommes à donner, lors du recrutement, à ceux qui se présentent. On n'aurait personne si on ne donnait pas de quoi commencer à acquitter l'impôt. Par malheur une partie de ces sommes est perdue, parce que tous ceux qui se sont engagés ne descendent pas sur la concession, et il n'y a aucun recours à exercer contre des gens qui ne possèdent à peu près rien.

Toutes ces circonstances expliquent comment la production d'or a pu passer en neuf ans de zéro à une valeur de plus de 8 millions de francs, en dépit de l'abstention totale des capitaux métropolitains, et pourquoi, malgré cela, les ressources aurifères de l'île sont encore à peu près complètement inconnues. Jusqu'à présent on a travaillé à Madagascar d'une façon extensive, non intensive; les gisements ont été écrémés et non pas vraiment exploités. Mais cela ne peut pas durer beaucoup plus longtemps: ce qui est susceptible d'écrémage s'épuise, et de plus en plus vite. Sans doute des découvertes continuent à se produire, et l'île n'est pas explorée à fond dans toutes ses parties. Mais il serait peu prudent et peu sage de s'en rapporter au hasard pour l'avenir, et il ne faut pas oublier que les prospecteurs ont maintenant circulé à travers tout le pays.

L'avenir est vraiment dans l'exploitation intensive de

la masse même des alluvions et des terres aurifères. En bien des endroits, il y en a des dépôts énormes, capables de suffire pendant de longues années à une consommation de plusieurs centaines de mille mètres cubes par an. La teneur moyenne est sans doute basse, en général ; des études approfondies sont indispensables, tant pour déterminer cette teneur que pour se rendre compte des procédés de manipulation les plus économiques et les mieux appropriés, car le secret de la réussite est là. Mais il y a tout lieu de penser que ces études donneront en général des résultats satisfaisants et que nous verrons bientôt se créer à Madagascar d'importantes entreprises de traitement mécanique des gisements alluvionnaires. Ces entreprises pourront fort bien vivre et prospérer, même avec de faibles teneurs, parce que les conditions extérieures ne sont pas mauvaises, la main-d'œuvre ne coûte pas grand'chose, et on aura de la force motrice à bon compte à peu près partout. L'île est, en effet, extrêmement bien arrosée ; les cours d'eau y sont nombreux, souvent considérables, les chutes et les dénivellations fréquentes et d'un aménagement facile. Aussi est-on fondé à espérer que des appareils puissants et bien conçus et des méthodes rigoureuses tireront de beaux bénéfices de ce que néglige et gaspille aujourd'hui la batée de l'indigène.

Gisements en place. — Ce n'est pas cependant des alluvions que se sont préoccupés jusqu'à présent les prospecteurs de là-bas, quand ils ont pensé à assurer l'avenir. Ils n'ont cherché que des gisements en place, des filons comme ils disent, et toute l'agitation de ces derniers temps ne s'est faite qu'à ce sujet. Car le mot de filon évoque dans l'esprit du public une idée de permanence dans la richesse. On se représente volontiers un filon comme pouvant fournir presque indéfiniment du minerai

riche à une exploitation ; au contraire, on sait qu'un dépôt alluvionnaire s'épuise vite. La fièvre du filon à Madagascar est, en somme, parfaitement justifiée.

Le quartz est la matière essentielle des gisements en place. Or, à Madagascar, il abonde d'une façon extraordinaire. On en voit partout. Des collines en sont couvertes ; des montagnes, des chaînes entières en sont formées. Il s'en faut naturellement qu'il soit partout aurifère. Quand on constata peu à peu qu'il l'était en bien des points, des espoirs magnifiques naquirent. Certes, il a fallu en rabattre beaucoup. Mais la méfiance et le scepticisme actuels dépassent sans aucun doute la mesure.

Les quelques recherches jusqu'à présent exécutées ont fourni des indications utiles. On a rencontré deux sortes de gisements en place : les uns, de teneur relativement satisfaisante, sont minces, discontinus et ne sauraient donner un tonnage sérieux; les autres sont puissants, fort étendus, mais de teneur très inégale, donc en moyenne médiocre ou même faible. Ceux-ci sont sans conteste les plus intéressants. Grâce au bon marché de la main-d'œuvre et de la force motrice, ils pourront souvent être très fructueusement exploités. On sait avec quelles invraisemblables valeurs à la tonne on réalise de solides bénéfices aux États-Unis et ailleurs avec des gîtes quartzeux considérables, très bien situés et travaillés en grand. Il n'y a pas de raisons pour que nous n'en fassions pas autant à Madagascar. Mais il faut d'abord des études : de même que pour les alluvions, rien n'a été fait encore dans la voie de la reconnaissance de ces gisements en place ; on commence à peine à se douter qu'ils existent.

Il est aisé de concevoir, d'après ce qui précède, pourquoi les envoyés des syndicats financiers, comme aussi les prospecteurs transvaaliens, sont revenus en disant qu'il n'y avait rien à faire dans l'île. Il n'y a rien pour eux en effet : de pareils gisements ne se prêtent pas à de grandes

opérations de Bourse et ne peuvent pas davantage être étudiés et préparés pour la vente par quelques travaux rapides. Ils n'attirent pas l'attention du premier coup, pas plus qu'ils ne donneront lieu, plus tard, à des succès retentissants, mettant les actions en forte plus-value. Judicieusement exploités, après une reconnaissance bien faite, ils constitueront des affaires sûres, rétribuant bien le capital qui aura été nécessaire. Ils intéressent des capitalistes recherchant pour leurs fonds un intérêt convenable, non pas des spéculateurs désireux avant tout de réaliser des différences.

Ces gisements sont-ils des filons ? Non, probablement. Ce sont, d'après toutes apparences, des couches ou d'énormes lentilles de quartz qui font partie d'un étage de schistes et de roches schisteuses reposant sur le granite et dont le faciès actuel est dû au métamorphisme. L'action métamorphique semble avoir été exercée par les pegmatites, dont on voit des dykes nombreux, souvent puissants, à travers le granite, plus ou moins gneissique, qui forme le substratum général de l'île et apparaît en bien des points sur de vastes étendues. Sous cette action, les couches sédimentaires de grès, calcaires, argiles et schistes se sont transformées en bancs de quartz ou de quartzites, calcaires cipolins, roches vertes, amphibolites quartzeuses, schistes pyroxéniques, micacés, etc., et même gneiss. En même temps, à la faveur de mouvements géologiques violents, détruisant l'horizontalité primitive, se répandaient partout d'abondantes solutions siliceuses, sulfurées et aurifères. Les couches en étaient plus ou moins pénétrées selon leur perméabilité. Ainsi s'expliquent et la silicification intense qu'on peut constater dans tous les terrains anciens de Madagascar, et la dissémination extrême de l'or dans ces mêmes terrains. Des érosions considérables ont ensuite raviné l'étage, le faisant même disparaître entièrement en cer-

tains endroits, et produisant les dépôts alluvionnaires qu'on exploite aujourd'hui. Les lambeaux qui en subsistent sont importants. Dans le Centre, il paraît y en avoir un assez grand nombre, mais isolés et de dimensions relativement faibles. Dans l'Est et l'Ouest, au contraire, ils forment, le long des contreforts du massif central, à une certaine distance de la côte, deux bandes à peu près continues et de largeur variable, atteignant jusqu'à 60 et 70 kilomètres. Là se trouvent les alluvions les plus considérables et les plus riches : les bouleversements géologiques, les émissions de solutions minéralisées, et finalement les érosions, ont dû être en effet plus intenses qu'ailleurs sur les flancs de l'anticlinal gigantesque que paraît être Madagascar.

Aux endroits où le granite a été mis à nu au-dessous des terrains anciens, on rencontre les gisements en place de la première espèce, ceux qui sont minces et discontinus. Ceux-ci sont bien des filons, des veines de quartz aurifère. Mais ces veines remplissent des fentes peu importantes, dues sans doute à des phénomènes de retrait, et non pas des cassures profondes de la roche. On ne peut compter sur elles pour avoir beaucoup de minerai. Aussi, quoique d'une teneur quelquefois assez bonne, ne serontelles exploitées qu'exceptionnellement, par exemple quand il y en aura plusieurs — et que l'extraction sera facile — dans une concession ou un district où fonctionnera une des grandes entreprises d'alluvions ou de quartz dont il est permis d'espérer la création à bref délai.

Il est possible qu'il existe, en sus de ces deux sortes de gisements quartzeux, de vrais filons recoupant l'étage de terrains anciens. On n'en connaît aucun encore, du moins d'une façon certaine ; mais toutes ces recherches sur les quartz sont très récentes, il ne faut pas l'oublier.

Les divers points de l'île où ont été signalés des quartz aurifères, et où des recherches ont été exécutées, se ré-

partissent entre les trois grandes régions du Centre, de l'Est et de l'Ouest.

Du côté de Mevatanana, M. Suberbie avait fait exploiter quelque temps deux veines encaissées dans le gneiss ou le granite : il semble que les travaux aient dû cesser à cause du manque de minerai ; du côté de Miandrivazo, on a trouvé, en 1904, de très riches échantillons, mais toutes les recherches faites pour découvrir le gisement originel sont restées infructueuses ; il s'agissait sans doute d'une petite lentille très aurifère isolée dans les terrains anciens et entièrement détruite par l'érosion : non loin de là on a exécuté des travaux de reconnaissance assez étendus sur deux veines minces dans le granite.

Dans l'Est, on connait des quartz aurifères en beaucoup d'endroits : à Ampasimbe, autour de Mahanoro, dans les vallées de l'Ampasary, du Fantanara, de la Saka, de la Maha et bien d'autres ; en 1902, de très beaux échantillons furent recueillis vers la tête d'affluents de ces dernières rivières, mais on ne réussit pas à découvrir le gîte d'où ils provenaient.

C'est dans le Centre que les gisements en place connus sont le plus nombreux. A Vohinambo, au Sud-Ouest d'Arivonimamo et à Antanifotsy, à faible distance au Sud de Tananarive, on a travaillé, et on travaille encore, sur une couche de quartz intercalée dans les schistes anciens. Plus au Sud, dans les environs d'Andranofito, de Soavinarivo et de Talatsara, on connait plusieurs couches semblables : ici la tourmaline abonde souvent ; en certains endroits il y en a une telle quantité qu'on ne voit plus le quartz, et, comme elle est en menus cristaux friables, le minerai ressemble à un morceau de coke ou d'oxyde de manganèse ; broyé et lavé, il donne, avec l'or, une poudre jaune, lourde, qui est du carbonate de bismuth. Il y a souvent aussi, dans le quartz, des inclusions de feldspath orthose.

Au Nord de Tananarive, dans le bassin de la haute Mahajamba, on a rencontré, affirme-t-on, des filons véritables recoupant les schistes anciens ; leur teneur serait assez régulière.

Les quartz aurifères malgaches sont de tous les types possibles, tantôt blanc compact, à éclat doux, légèrement bleutés ou grisâtres, tantôt saccharoïdes, granuleux, à éclat gras, tantôt vitreux et tourmalinifères, ou très impurs et pénétrés de débris de roches. Dans un même district plusieurs espèces, entièrement dissemblables, se rencontrent souvent. Aussi l'observation et la recherche sont-elles déroutées ; il n'y a aucune raison pour s'attacher à recueillir tels quartz plutôt que tels autres. Une difficulté analogue se produit pour la recherche des dépôts alluvionnaires : comme il y a de l'or à peu près partout, le fait d'en trouver quelque part ne constitue plus une indication très nette. Beaucoup de quartz ont aux affleurements une texture granuleuse qui les fait ressembler à des quartzites. C'est ce qui a fait dire qu'il y a beaucoup de quartzites à Madagascar.

On a rencontré dans l'île d'autres roches aurifères que des quartz : des gneiss, d'abord. La constatation faite par M. Lacroix de l'existence de l'or dans un gneiss comme élément constitutif est déjà ancienne ; elle avait fourni une explication de la grande dissémination du métal et de la faible teneur des alluvions. En 1904, à peu de distance au Sud-Est d'Ambositra, il a été trouvé, en place, une roche pyroxénique schisteuse, sorte de gneiss à pyroxène, où se voient, le long de certains feuillets, des traînées de particules d'or natif. Des recherches ont été entamées sur ce gisement. Mais elles ne paraissent pas avoir donné des résultats en rapport avec les espérances qu'on avait conçues.

Résumé. — En résumé, malgré toutes les déceptions

qu'on a eues jusqu'à présent, Madagascar n'a pas dit son dernier mot, et il y a de sérieuses raisons d'espérer en l'avenir. Alluvions et gisements en place, quoique pauvres, ne paraissent pas *a priori* inutilisables, à cause de leur grande étendue et des conditions favorables qu'offre l'île au point de vue de la main-d'œuvre et de la force motrice, et il ne semble pas douteux qu'il y ait intérêt à poursuivre l'étude de ces gisements. Les études nécessaires seront faites certainement, et l'on peut avoir confiance que ceux qui les feront verront leur initiative récompensée comme il convient.

BULLETIN.

PRODUCTION DU PLOMB, DU CUIVRE, DU ZINC, DE L'ÉTAIN, DU NICKEL, DE L'ALUMINIUM ET DU MERCURE DANS LE MONDE EN 1902 ET 1903.

PRODUCTION DU PLOMB BRUT EN 1902 ET 1903 (*).

	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne	140.300	145.300
Espagne	172.500	163.400
Grande-Bretagne	25.800	28.500
Italie	26.500	22.100
Grèce	15.900	16.300
Belgique	19.000	21.000
Autriche-Hongrie	13.500	*13.300*
France	19.000	23.000
Autres pays d'Europe	*4.900*	*8.600*
États-Unis	254.500	262.200
Mexique	102.000	100.000
Canada	8.900	8.700
Australie	72.300	71.300
Amérique du Sud	200	600
Totaux	875.300	884.300

(*) Les nombres en italiques sont donnés, au moins pour partie, par estimation.

Pour les années 1890 à 1895, voir les *Annales des Mines*, 2e volume de 1897, page 350 ; pour l'année 1897, voir le 2e volume de 1899, page 453 ; pour les années 1898 et 1899, voir le 1er volume de 1901, page 223, et pour les années 1900 et 1901, voir le 2e volume de 1903, page 393.

PRODUCTION DU CUIVRE BRUT EN 1902 ET 1903.

	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne	30.578	31.214
Grande-Bretagne	65.900	70.300
France	6.300	6.900
Autriche-Hongrie	1.200	1.400
Italie	3.863	3.900
Russie	8.800	10.500
Autres Etats d'Europe	10.000	12.200
Importation en Europe.		
Du Japon	14.400	16.300
D'Australie	17.800	16.000
D'Amérique (*)	193.500	174.000
Production de ou pour l'Europe	352.341	342.714
Production des Etats-Unis, non compris l'exportation (**)	122.400	158.900
Japon (consommation en Asie) (***)	16.200	15.500
Production totale	490.941	517.114

PRODUCTION DU ZINC BRUT EN 1902 ET 1903.

	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
États allemands de l'ouest, Belgique, Hollande	203.342	219.141
Silésie	117.125	118.704
Grande-Bretagne	40.244	44.110
France et Espagne	27.463	28.367
Autriche et Italie	8.595	9.170
Russie	8.281	9.901
États-Unis	140.299	141.930
Production totale	545.319	571.323

* Chili et autres États de l'Amérique du Sud, États-Unis, Mexique colonies anglaises du Nord de l'Amérique.

** Production des États-Unis : 1902, 319.100 tonnes; 1903, 320.000 tonnes

*** Quantités auxquelles il y a lieu, pour avoir la production réell du pays, d'ajouter l'importation en Europe précédemment indiquée.

PRODUCTION DE L'ÉTAIN EN 1902 ET 1903.

	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
Angleterre	4.572	4.369
Expéditions des Détroits en Europe et en Amérique	52.660	53.050
Expéditions d'Australie	3.455	4.856
Vente Banka en Hollande	15.240	15.342
Vente Billiton en Hollande et à Java	3.959	3.709
Importation de Bolivie en Europe	9.043	9.652
Production totale	88.929	90.978

PRODUCTION DU NICKEL EN 1902 ET 1903.

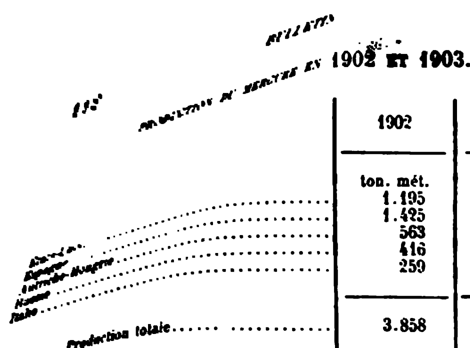
	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
Allemagne (*)	1.604	1.600
États-Unis et Canada	4.715	5.100
Nouvelle-Calédonie (**)	2.420	3.150
Production totale	8.739	9.850

PRODUCTION DE L'ALUMINIUM EN 1902 ET 1903.

	1902	1903
	kilogr.	kilogr.
Suisse	*2.500.000*	*2.500.000*
Angleterre	*600.000*	*650.000*
France	1.355.000	1.570.000
États-Unis	*3.312.000*	*3.402.000*
Production totale	7.767.000	8.122.000

Production de la Prusse seulement, à laquelle il y aurait lieu outer le nickel produit dans le royaume de Saxe.

(**) Cette production est obtenue en France et en Angleterre au moyen minerais de la Nouvelle-Calédonie. Elle ne comprend pas l'importion des minerais de la Nouvelle-Calédonie en Allemagne.



... EN 1902 ET 1903.

	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
[illegible]	1.195	1.010
[illegible]	1.425	930
[illegible]	563	578
Autriche-Hongrie	416	362
[illegible]	259	316
Production totale	3.858	3.19[illegible]

Extrait (modifié en ce qui touche la France) des Statistische Zusammenstellungen von der Metallgesellschaft und der Metallurgischen Gesellschaft A.-G., 11e *Jahrgang*.

RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION MINÉRALE DU CANADA EN 1905 *.

	QUANTITÉS	VALEURS
1° Métaux	tonnes mét.	francs
Cuivre	21.[illegible]	[illegible]
Plomb	2[illegible]	13.[illegible]
Nickel	8.[illegible]	[illegible]
Fonte	** [illegible]	33.[illegible]
Cobalt		[illegible]
Zinc et autres métaux		[illegible]
Argent [illegible]	185.81[illegible]	18.[illegible]
Or	—	*** [illegible]
Valeur totale des métaux		21[illegible]

* Chiffres provisoires.

** Dont 6[illegible]992 tonnes tirées de minerais [illegible] et 41[illegible]2 tonnes tirées de minerais importés.

*** Dont [illegible] francs pour le district du Yukon.

2° *Matières minérales.*	QUANTITÉS	VALEURS
	tonnes métr.	francs
Charbon	7.959.771	91.471.625
Pétrole	81.671	4.401.379
Gaz naturel	—	1.627.810
Minerai de fer (exporté)	105.919	648.116
Minerai de manganèse (exporté)	20	8.910
Pyrites	29.699	640.113
Fer chromé	7.777	483.299
Graphite	491	88.226
Sel	41.151	1.610.244
Ocre	4.630	179.616
Baryte	3.048	38.850
Gypse	395.260	3.012.393
Corindon	1.491	772.613
Phosphates	1.179	43.641
Tuyaux	—	1.978.760
Terre cuite, briques, etc	—	336.141
Talc	454	9.524
Amiante	61.915	7.786.882
Tripoli	181	18.648
Mica	—	870.463
Pierres à meules	4.691	296.296
Dalles	—	39.627
Schiste	—	111.722
Granite	—	1.085.495
Feldspath	10.612	121.212
Ciment naturel	1.827	53.219
— de Portland	173.435	9.913.173
Castine	309.844	1.340.372
Sables et graviers (exportés)	332.810	791.530
Matériaux de construction (pierres de taille, chaux, etc.)	—	31.572.100
Eaux minérales	—	518.000
Valeur totale des matières minérales	....	161.869.799
Valeur totale des métaux	....	219.998.863
Valeur des substances minérales non dénommées	....	1.554.000
Total général		383.422.662

(*Extrait du* Geological Survey of Canada, *Ottawa*, 1906.)

PRODUCTION DU MERCURE EN 1902 ET 1903.

	1902	1903
	ton. mét.	ton. mét.
États-Unis	1.195	1.010
Espagne	1.425	930
Autriche-Hongrie	563	578
Russie	416	362
Italie	259	316
Production totale	3.858	3.196

[*Extrait* (*modifié en ce qui touche la France*) *des* **Statistische Zusammenstellungen von der Metallgesellschaft und der Metallurgischen Gesellschaft A.-G., 11e** ***Jahrgang.***]

RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION MINÉRALE DU CANADA EN 1905 (*).

	QUANTITÉS	VALEURS
1° *Métaux.*	tonnes métr.	francs
Cuivre	21.590	38.437.936
Plomb	25.384	13.644.555
Nickel	8.562	39.111.725
Fonte	(**)478.834	33.633.595
Cobalt	—	518.000
Zinc et autres métaux	—	932.400
	kg.	
Argent (en kilogrammes)	185.819	18.678.857
Or	—	(***) 75.041.795
Valeur totale des métaux	....	219.998.863

(*) Chiffres provisoires.

(**) Dont 63.992 tonnes tirées de minerais indigènes et 414.842 tonnes tirées de minerais importés.

(***) Dont 43.135.000 francs pour le district du Yukon.

	QUANTITÉS	VALEURS
2° *Matières minérales.*	tonnes métr.	francs
Charbon	7.959.771	91.471.625
Pétrole	81.671	4.401.379
Gaz naturel	—	1.627.810
Minerai de fer (exporté)	105.919	648.116
Minerai de manganèse (exporté)	20	8.910
Pyrites	29.699	640.113
Fer chromé	7.777	483.299
Graphite	491	88.226
Sel	41.151	1.610.244
Ocre	4.630	179.616
Baryte	3.048	38.850
Gypse	395.260	3.012.393
Corindon	1.491	772.613
Phosphates	1.179	43.641
Tuyaux	—	1.978.760
Terre cuite, briques, etc	—	336.141
Talc	454	9.524
Amiante	61.915	7.786.882
Tripoli	181	18.648
Mica	—	870.463
Pierres à meules	4.691	296.296
Dalles	—	39.627
Schiste	—	111.722
Granite	—	1.085.495
Feldspath	10.612	121.212
Ciment naturel	1.827	53.219
— de Portland	173.435	9.913.173
Castine	309.844	1.340.372
Sables et graviers (exportés)	332.810	791.530
Matériaux de construction (pierres de taille, chaux, etc.)	—	31.572.100
Eaux minérales	—	518.000
Valeur totale des matières minérales		161.869.799
Valeur totale des métaux		219.998.863
Valeur des substances minérales non dénommées		1.554.000
Total général		383.422.662

(*Extrait du* Geological Survey of Canada, *Ottawa*, 1906.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA HONGRIE EN 1904.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Houille	1.031.502	10.610.425	10,79
Lignite	5.447.283	39.220.521	7,19
Briquettes	135.397	2.190.386	16,17
Coke	38.836	1.058.238	27,25
Roches asphaltiques	17.660	3.711	0,21
Bitume	2.201	239.423	108,67
Huile minérale brute	2.134	116.748	54,81
Minerais de fer exportés	649.550	3.508.268	5,40
— de manganèse	11.743	134.675	11,45
— — exportés	25	10.288	404,98
Fonte d'affinage	370.297	29.764.862	80,43
Fonte de moulage	17.203	3.114.027	181,02
Plomb	2.104	641.090	305,23
Minerai de zinc	203	11.436	56,28
Cuivre	63	87.639	1.391,14
Cuivre de cément	3.349	169.664	50,61
Minerai d'antimoine	82	9.282	113,19
Antimoine (régule et métal)	971	519.270	535,30
Minerai d'arsenic	11	2.354	210,00
Mercure	45	213.439	4.732,56
Bismuth	0,9	9.363	10.560,00
Pyrite de fer	97.303	859.730	8,83
Sulfate de fer	1.277	24.904	19,53
Couleurs minérales	273	21.095	77,27
Soufre	143	22.836	160,12
Acide sulfurique	1.329	14.929	11,13
Sulfure de carbone	2.512	764.979	304,50
	kilogr.		
Or	3.669	12.627.798	3.444,00
Argent	16.352	1.675.918	102,50
VALEUR TOTALE		107.642.388	

Le nombre des ouvriers employés à l'exploitation des mines et au travail des usines métallurgiques a été, en 1904, de 71.021, répartis comme suit :

Hommes	63.687
Femmes	1.638
Enfants	5.696
Total	71.021

Les accidents survenus dans les mines et dans les usines ont donné lieu, en 1904 :

à 112 tués................. soit 15,7 pour 10.000 ouvriers
et 286 blessés grièvement... — 40.3 —

(*Extrait de l'Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.*)

L'HYDROLOGIE SOUTERRAINE

DE LA

DOBROUDJA BULGARE

Par M. L. DE LAUNAY, Ingénieur en Chef des Mines,
Professeur à l'École supérieure des Mines.

Au mois de mai 1905, j'ai visité en détail toute la région de la Bulgarie comprise entre la ligne de chemin de fer de Routschouk à Varna et la frontière roumaine, sur 220 kilomètres de long et 70 à 80 kilomètres de large, c'est-à-dire la Dobroudja et le Deli-Orman, dans les préfectures de Varna, Choumla et Routschouk, pour chercher les moyens de remédier à la disette d'eau dont se plaignent les habitants de ce pays. Cette étude a été accomplie dans les mêmes conditions que celle de la formation charbonneuse des Balkans dont il a été rendu compte ici précédemment, c'est-à-dire qu'elle est due à l'initiative éclairée et persévérante de M. le Ministre Ghénadieff et qu'elle a été également préparée par une exploration du terrain dont nous sommes redevables au Service des Mines de Bulgarie sous l'habile direction de M. Michailovsky et, en ce qui concerne la géologie, aux soins de M. le D[r] Wankoff. Le voyage lui-même a eu lieu en compagnie de MM. Michailovsky et Wankoff, auxquels je suis heureux de renouveler ici tous mes remerciements pour leur précieux concours. Je saisis également cette occasion d'exprimer ma reconnaissance à M. Douvillé, qui a bien voulu faire, sur les fossiles rapportés de ce voyage, les déterminations que l'on trouvera plus loin.

Une carte géologique ci-jointe au 1.500.000^e, dressée par moi d'après les résultats de cette exploration (Pl. VI), avec coupes annexes (Pl. VII), permettra de suivre la lecture de ce travail.

PRÉAMBULE.

Observations générales et résumé des conclusions. — La question qui a fait l'objet de mon exploration, à savoir l'alimentation d'eau de la Dobroudja et du Deli-Orman, était, jusqu'ici, très vaguement et très imparfaitement connue. On savait seulement qu'une vaste région fertile et nullement désertique manquait souvent d'eau en été pour la boisson des hommes ou celle des bêtes et pour les autres besoins agricoles ; mais dans quelles proportions, sur quels points précis et pour quelles causes géologiques ou hydrologiques, on l'ignorait, et à plus forte raison ne pouvait-on apprécier les moyens de remédier à cet inconvénient. Il était donc nécessaire de déterminer, avant tout. la nature exacte et la cause profonde du mal pour chercher ensuite les remèdes à y apporter. De là résultent les deux divisions naturelles de ce mémoire. Dans la première, nous examinerons pourquoi les sources et les rivières manquent totalement en certaines régions, ce qui nous conduira à faire l'étude géologique du pays. Dans la seconde, nous demanderons à la géologie les moyens de se procurer cette eau qui fait actuellement défaut, en allant la chercher profondément. Quant au côté technique du problème, c'est-à-dire aux moyens pratiques d'élever à la surface l'eau rencontrée en profondeur, c'est là une question qui ne présente qu'un intérêt local et que je laisserai par conséquent ici de côté. Comme on le verra bientôt. les résultats de l'étude géologique sont d'une netteté absolue et peuvent être de nature à nous éclairer dans

une foule d'autres cas plus obscurs sur cette circulation souterraine des eaux en terrains calcaires, que l'on a autrefois si inexactement envisagée.

Il y a lieu de faire, à ce propos, dès le début, une remarque préliminaire : c'est que, par une coïncidence singulière, l'absence de l'eau dans les régions parcourues est attribuable à deux causes tout à fait indépendantes l'une de l'autre, qu'un hasard seul a fait intervenir côte à côte ; d'où les conditions différentes dans lesquelles se pose le problème : soit à l'Est, dans le vaste plateau de Dobritcha à Varna, Baltchik, etc., qui constitue à proprement parler la Dobroudja ; soit à l'Ouest, dans la région de Kourtbounar, Akkadanlar, Balbounar, etc., entre le Danube et la ligne de collines qui domine au Nord la ville de Rasgrade, c'est-à-dire dans le Deli-Orman.

A l'Est, comme nous allons le voir en détail, mais comme on peut l'indiquer de suite en quelques mots, la disparition de l'eau en profondeur est due à la présence sur le plateau d'un vaste ensemble à peu près horizontal de calcaire tertiaire (sarmatique), au-dessous duquel des marnes retiennent les eaux souterraines. Il suffit donc de percer ces calcaires par des puits, dont la profondeur est au maximum de 80 mètres, pour rencontrer l'eau en abondance au contact des calcaires et des marnes ; la seule difficulté, plus ou moins bien résolue par les procédés anciens du pays, consiste à élever cette eau de 60 à 80 mètres de profondeur et, en fait, l'eau ne manque pas dans cette région, même pendant l'été ; il n'y a donc là pratiquement à envisager que les perfectionnements dont semblent susceptibles les engins élévatoires.

Dans la partie Nord du Deli-Orman, la question est, au contraire, beaucoup plus grave. Là l'absence de l'eau est directement reliée à la présence de calcaires crétacés (calcaires à Réquiénies), dont la limite Sud forme une ligne, à peu près Est-Ouest, de Pisanitz à Dikilitatsch, Kokardja,

Kourtbounar, et qui s'étendent de là vers le Nord jusqu'au Danube. Ces calcaires, criblés de trous, perforés en tous sens de cavités et de grottes, jouent le rôle d'une véritable éponge, où les eaux disparaissent comme dans le Karst illyrien, avec pertes de rivières, rivières souterraines, cavernes, etc. ; d'où l'aspect singulier que présentent, sur une carte, les rivières de ce pays, toutes arrêtées à un certain point de leur parcours et prolongées ensuite à la superficie par une vallée sèche, leur lit ancien d'une époque géologique antérieure. A la surface de ces calcaires, l'eau ferait totalement défaut, et il n'y aurait aucune source même précaire si, fort heureusement, toute cette zone ne s'était trouvée recouverte par une couche très épaisse d'argile fine et légèrement sableuse, qui forme ce qu'on appelle les dépôts du lœss. Ce manteau d'argile a été généralement enlevé dans les vallées par le travail des érosions, et là les calcaires sous-jacents apparaissent avec leurs trous, leurs cavités et leurs grottes; mais, sur les plateaux, il persiste avec une épaisseur plus ou moins grande; il absorbe alors et recueille les eaux, au lieu de les laisser simplement passer et circuler comme les calcaires; il joue un rôle que l'on peut comparer à celui d'un feutre, d'une étoffe poreuse, où l'eau s'accumule pendant les périodes pluvieuses et suinte ensuite lentement, formant soit de petites sources précaires, soit surtout des réserves d'eau souterraines, que l'on peut aller chercher par des puits de quelques mètres de profondeur. Cette ressource d'eau est nécessairement, par sa nature même, limitée, et sujette à tarir pendant l'été, quand le feutre formé par l'argile du diluvium se dessèche; mais, pendant la plus grande partie de l'année, elle suffit à alimenter d'eau les villages.

Là où ce manteau d'argile protecteur s'est trouvé enlevé ou très réduit par l'érosion, le calcaire crétacé joue son rôle funeste et il y a lieu de chercher ce que de-

viennent les eaux dans sa profondeur : question qui se pose, en outre, pour tout l'ensemble de la région, même quand les argiles du lœss existent, pendant les sécheresses de l'été. A cet égard, comme je le disais en commençant, les difficultés sont sérieuses, mais sans être nullement insurmontables. Ces calcaires sont, en effet, très épais ; ils le deviennent de plus en plus par la disposition géologique du pays, quand on se rapproche du Danube, et il ne s'y intercale pas, en profondeur, de niveau argileux imperméable susceptible d'arrêter la descente souterraine des eaux. Celles-ci ne peuvent donc s'interrompre dans leur pénétration que lorsqu'elles rencontrent, au-dessous, les étages marneux de terrains géologiques plus anciens. C'est le rôle joué, dans toute la région Sud, par les calcaires marneux du Barrémien et qui amène là l'existence de toute une série de sources et de petites rivières à Kiokledja, vers Kokardja, etc. Dans la région Nord, ces marnes barrémiennes étant très profondes, la pénétration des eaux ne s'arrête que lorsque celles-ci arrivent à la nappe hydrostatique de drainage reliée souterrainement à la vallée du Danube.

En raison même de la pénétrabilité extrêmement facile de ces calcaires, cette nappe hydrostatique de drainage paraît former souterrainement une surface convexe assez régulière, ayant (sauf des anomalies locales sur lesquelles je reviendrai) une légère pente vers la vallée du Danube. On peut donc, en chaque point, considérer qu'un puits, poussé jusqu'à une profondeur voisine du niveau où se trouve le Danube, rencontrera l'eau abondante à l'état de véritables rivières souterraines. Cette profondeur, dans les régions les plus défavorablement situées, ne dépasse guère 100 à 200 mètres. Un puits de 100 à 200 mètres peut donc être envisagé comme devant presque certainement fournir de l'eau, et la seule difficulté est alors le calcul économique des prix de forage et d'élévation par un

moteur, à vapeur ou à essence, que nous laissons ici de côté. Mais, géologiquement, le problème paraît être toujours résoluble, c'est-à-dire qu'à moins de 200 mètres on est presque sûr de trouver l'eau dont on a besoin.

Enfin il y avait lieu de se demander si, pour l'une ou l'autre de ces régions, et surtout pour la seconde, on n'aurait pas avantage à pousser les puits plus profondément dans l'espoir de rencontrer des nappes d'eau artésiennes jaillissantes, donnant de l'eau qui monterait spontanément et sans frais à la surface, dans des conditions analogues à celles qui ont amené la transformation de diverses régions désertiques.

Ma réponse, à cet égard, sera négative. Ainsi que nous le verrons, la nappe d'eau artésienne, que l'on pourrait peut-être rencontrer dans le Deli-Orman, serait, en tout cas, très profonde, à 5 ou 600 mètres au moins de profondeur, peut-être beaucoup plus, soit très dubitativement dans le Barrémien, soit surtout à la base des argiles du Néocomien. Dans ces conditions, chaque sondage serait très coûteux et les frais ne pourraient en être supportés que s'il s'agissait d'alimenter une grosse agglomération urbaine. Mais tel n'est pas du tout le cas et, avec des villages nombreux et disséminés comme ceux qui existent, il serait impossible, en tout cas, de fournir pratiquement à l'alimentation des diverses habitations.

En résumé, l'examen d'une carte géologique telle que celle annexée à cette étude fournit, surtout si on y tient compte des courbes de niveau, la solution très simple du problème posé. Cette solution est naturellement donnée avec d'autant plus de précision et d'autant plus immédiatement que la carte est à plus grande échelle, et le manque d'une carte géologique détaillée, qui n'a pas encore été exécutée en Bulgarie, introduit une certaine part d'hypothèse. Mais, sur la carte même à l'échelle relativement restreinte que j'ai dressée, la solution ap-

proximative peut être exprimée de la manière suivante :

1° Partout où affleurent les calcaires tertiaires sarmatiques, nappe d'eau profonde à la base de ces calcaires au-dessus des étages marneux que montrent, par exemple, les falaises de Baltchik. La profondeur de cette nappe d'eau ne dépasse pas 80 mètres. J'en ai dressé, sur une carte ci-jointe (Pl. VIII, *fig.* 1), la forme souterraine approximative par courbes de niveau, et il suffit de comparer cette surface de l'eau profonde à la surface topographique superficielle en chaque point pour savoir la profondeur que devra avoir un puits ;

2° Là où affleurent les calcaires barrémiens, niveaux de sources très suffisants pour l'alimentation et donnant même de petits ruisseaux ou rivières au contact des calcaires et des divers lits marneux intercalés ;

3° Là où existent les calcaires à Réquiénies, disparition des eaux en profondeur. Nappe hydrostatique profonde, déterminée, dans toute la région Nord, par le drainage du Danube, ainsi que le montre une coupe ci-jointe (Pl. VIII, *fig.* 3), et, par conséquent, nécessité de forer des puits profonds de 100 à 200 mètres, dont on pourra prévoir la profondeur en chaque point par la comparaison de la cote superficielle avec la cote de la nappe hydrostatique au même point. Dans la région Sud, où les calcaires à Réquiénies sont plus minces, on pourrait trouver une nappe d'eau moins profonde en descendant jusqu'aux intercalations marneuses du Barrémien ; mais la nécessité n'en existe pas, parce que là il subsiste encore des rivières superficielles.

4° Dans cette même zone des calcaires à Réquiénies, partout où existe le diluvium (parties laissées en blanc), eau peu profonde dans le diluvium, rencontrée par des puits ordinaires ne dépassant guère 20 mètres de profondeur, mais sujette à tarir en été. La présence de ce diluvium argileux facilite, en même temps, à la superficie

la collecte des eaux pluviales dans des mares ou étangs obtenus par le barrage de petites vallées.

PREMIÈRE PARTIE.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE.

Description des divers terrains représentés(*).

Bien que mon exploration ait eu un but hydrologique et non, à proprement parler, géologique, et quoique j'aie, par conséquent, laissé de côté bien des points théoriquement intéressants, mais dont l'examen n'importait pas à mon sujet spécial, j'ai dû néanmoins établir une échelle stratigraphique indispensable pour mes conclusions pratiques. Je vais donc commencer par décrire sommairement, de la base au sommet, les divers étages géologiques représentés dans la région. La région parcourue par moi était restée en dehors des itinéraires de M. Toula, avec lesquels elle se raccorde seulement au Sud le long de la ligne de Routschouk à Rasgrade et Varna. Je rappelle que mon voyage avait été précédé par une étude géologique de M. L. Wankoff.

Lias (20 à 26). — On sait combien, d'une façon générale, le Jurassique est peu représenté dans toute la Bulgarie, où il n'a guère été ramené au jour que dans une zone étroite sur la longueur des Balkans. Le plateau prébalkanique, sur lequel a porté uniquement mon étude de 1905, n'en présente aucun affleurement; mais, plus au

(*) Les numéros d'ordre donnés aux étages géologiques se rapportent au tableau général inséré dans mon ouvrage de la *Science géologique* (Armand Colin, 1905).

Sud, dans le Balkan plissé, il existe deux affleurements de Lias que figure approximativement ma carte d'après les travaux de M. Toula (*) : l'un entre Djoumaya et Dervent, l'autre à Kotel. Ce dernier, que j'ai visité, renferme une faune à Pentacrinites : il est associé avec des terrains à Hétérastridies, regardés par M. Toula comme triasiques.

En Roumanie, à l'Est de Silistria, vers Esenchioi, M. Anastasiu a figuré le commencement d'une zone jurassique, qui se poursuit vers le Nord, le long du Danube (**). Les calcaires situés en ce point semblent, d'après ce que j'ai pu voir, identiques d'aspect aux calcaires à Réquiénies que nous classerons plus loin dans le Crétacé. La même assimilation paraît devoir être faite pour une grande partie de cette zone, qui ne serait pas jurassique, mais crétacée. M. Anastasiu décrit, en effet, les terrains qui la composent le long du Danube jusqu'à la ligne de Constanza-Tchernavoda comme formés de « calcaires blancs durs, rarement bréchoïdes, très compacts, avec petites grottes, souvent divisés par des fissures cimentées de lœss » : caractères qui appartiennent également à nos calcaires à Réquiénies. En admettant que sa détermination d'âge soit exacte pour la partie de ces calcaires la plus éloignée de la Bulgarie, on pourrait supposer que deux calcaires construits analogues ont pu se reproduire là pendant des périodes différentes. Mais, lorsqu'on se reporte au texte, on se rend compte que, dans toute cette zone, il n'a été rencontré aucun fossile déterminable, si ce n'est peut-être dans quelques calcaires à Rhynchonelles situés tout à fait à la base. L'attribution a été faite surtout en partant du Jurassique réel de Rouma-

---

(*) *Denkschriften der K. K. Ak.*, 1890.

(**) *Contribution à l'étude géologique de la Dobrogea (Roumanie)*. Carré et Naud, 1898. — Il y a lieu de noter que Peters avait commencé par rattacher au Jurassique les calcaires à Réquiénies des environs de Routschouk, qu'il décrivait comme des calcaires à Diceras.

nie par une raison de continuité qui ne repose même pas sur une similitude de facies.

En réalité, les derniers affleurements précis de Jurassique se trouvent près de Tchernavoda, où la ligne de Bukarest à Constanza franchit le Danube, c'est-à-dire 60 kilomètres au Nord de la frontière. Là M. Anastasiu avait déjà rattaché au Jurassique des calcaires jaunâtres à Nérinées, situés (près de Medjidie) à la base du Jurassique. Plus récemment, M. Paquier a étudié, en ce point, des calcaires à Rudistes contenant un mélange de Diceras et de Rudistes, qu'il a rattachés au Jurassique supérieur (*).

Au Nord de Tchernavoda, au contraire, les terrains jurassiques reparaissent assez développés (Séquanien de Topal et Cekirgeou, Callovien de Hirsova, enfin Bathonien de la région tout à fait septentrionale). Mais cette réapparition correspond plus généralement ici à la présence d'un anticlinal ancien avec schistes siluriens, Carbonifère, Permien et Trias, qui accuse, malgré des relations communes, un caractère tectonique différent de celui du plateau prébalkanique proprement dit de la Dobroudja bulgare, avec lequel la Dobroudja roumaine a pourtant formé un bloc depuis la fin du Jurassique supérieur, et qui rattache plutôt cette région à la chaîne carpathique.

Valanginien (*Néocomien inférieur*, 32). — Le long de la vallée de Provadia, en allant vers le Nord de Provadia à Nevtcha, Kaspitchan et Schaitandjik, suivant la ligne de Provadia à Routschouk, on voit apparaître en un certain nombre de points, sous les marnes à *Bel. dilatatus* hauteriviennes dont il sera question plus loin, des bombements isolés d'un calcaire analogue au calcaire

(*) Voir encore, sur la Dobroudja roumaine, la monographie de PETERS (1867), *Grundlinien zur Geographie und Geologie der Dobrudscha* (*Denkschr. d. Math. Nat. Wiss. d. K. k. Akad. d. Wissen.*, t. XXVII).

barrémien, mais qui, au lieu d'être superposé à ces marnes comme le Barrémien, passe, au contraire, nettement au-dessous. Ces pointements calcaires forment un alignement général N. W.-S. E. qui paraît correspondre, comme nous le verrons plus loin, à une ligne tectonique importante de plissement anticlinal, parallèle aux plis généraux des Balkans, dont le prolongement va passer aux sources de Devna, et certains de ces affleurements, tels que celui de Kaspitchan (Pl. VII, *fig.* 1) ou celui de Schaïtandjik (Pl. VII, *fig.* 4), accusent, en effet, clairement la forme d'un dôme, d'un bombement.

On peut même se demander, en examinant ce bombement de Kaspitchan, si le plissement en question, continuation du refoulement des Balkans vers leur avant-pays, ne serait pas relié aux derniers mouvements du sol très récents, dont les Limans de Varna et leurs terrasses marines semblent également l'indice, toujours sur le même alignement. Ce bombement circulaire de Kaspitchan est, en effet, recoupé, en véritable petit cañon de 10 à 15 mètres de profondeur, par la rivière la Madera,

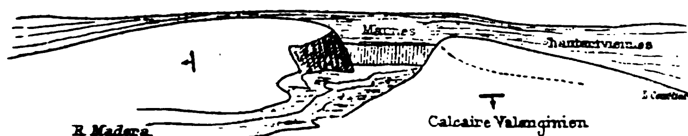


Fig. 1. — Passage de la Madera à travers le bombement de calcaire valanginien de Kaspitchan.

qui s'engage au milieu de cette masse dure sans raison appréciable, au lieu de la contourner dans les marnes plus affouillables, et la traverse en décrivant un V (*fig.* 1). On doit donc supposer que cette rivière a commencé à creuser son lit à un moment où le bombement calcaire n'existait pas et a continué à suivre les mêmes fissures par un véritable phénomène d'antécédence.

Au-dessus de ce calcaire, on voit, au Sud, environ 120 mètres de marnes hauteriviennes montant jusqu'au village de Kalugertcha, où commence le Sénonien. Vers le Nord, l'épaisseur de l'Hauterivien paraît être d'au moins 5 à 600 mètres. D'Eidjékiou vers Provadia, la coupe N.W.-S.E. (Pl. VII, *fig.* 3) accuse nettement un plongement général de tous les terrains vers le Sud-Est. Ce plongement est très visible quand on fixe son attention sur les bancs de grès dur qui forment des escarpements et des terrasses au milieu des marnes blanches, érodées en pente douce, du Sénonien.

Le calcaire d'Eidjékiou est un calcaire oolithique avec grande huître à carène, analogue à l'*Ost. Boussingaulti* et caractéristique de l'Hauterivien de Bulgarie.

L'affleurement au Sud de Taschman et celui de Kaspitchan sont formés d'un calcaire oolithique analogue avec marnes.

Enfin, le pointement de Schaitandjik est remarquable par ses plissements multipliés, accentuation du bombement qui existe bien marqué à Kaspitchan et que l'on peut également supposer ailleurs le long de la même traînée.

J'ajoute que l'extension réelle de ces calcaires valanginiens peut être, dans la Dobroudja, très supérieure à celle figurée sur ma carte. Il existe, en effet, entre Eidjékiou, Kosladja et Kourtbounar au Nord, un vaste plateau oscillant entre les cotes 200 et 300, dont l'étude géologique est très incomplète et que j'ai, pour ma part, seulement traversé rapidement dans une région couverte de bois. Il ne serait nullement impossible que les calcaires, dont est principalement formé ce plateau, fussent valanginiens et non barrémiens (les deux étages ayant un facies et même souvent une forme analogues). C'est une question dont je dirai quelques mots à propos de l'hydrographie. Car je crois qu'il faut attribuer à ces calcaires recouverts par des marnes hauteriviennes un rôle hydrographique impor-

tant; ce sont eux qui me paraissent être l'origine des infiltrations pluvieuses dont on observe la réapparition au jour à Devna sous la forme de très importantes sources vauclusiennes, en un point où les eaux, emmagasinées sous pression dans les calcaires au-dessous d'un toit marneux, ont trouvé ce toit marneux assez réduit d'épaisseur pour pouvoir le crever.

Hauterivien. — Marnes à « Belemnites dilatatus » (*Néocomien moyen*, 33). — Les marnes schisteuses hauteriviennes, très développées et très caractéristiques, occupent une grande extension dans la région de Choumla et dans celle de Devna. Leur rôle en hydrographie est important; car elles constituent une masse épaisse imperméable, qui ne laisse pas pénétrer les eaux, mais qui les retient en profondeur sous pression et qui donne lieu, par conséquent, à une véritable nappe artésienne, dont la réapparition au jour produit les si importantes et si curieuses sources de Devna. Topographiquement, ces marnes forment de vastes étendues aux molles et confuses ondulations, qui contrastent avec les reliefs brusques, les plateaux tabulaires et les cañons du Sénonien.

Leur faune est très nettement caractérisée par *Bel. dilatatus* et *Bel. pistilliformis*, que l'on y trouve abondamment partout où elles apparaissent : aux sources de Devna, plus au Sud à Kapatchi, et, dans toute la vallée au Nord de Provadia, à Eidjékiou, à Nevtcha, à Unouskiou, près Novibazar, au-dessous de Choumla, etc.

Leur aspect, très différent de celui des marnes calcaires blanches du Sénonien, permet d'ailleurs de les distinguer dès le premier coup d'œil. Elles sont généralement d'un gris bleu et alternent avec des argiles plus sableuses. Toula (*) a trouvé, dans ce niveau : *Belem.*

(*) *Denkschr. d. K. K. Ak.*, 1892, p. 32 à 34; 1893, p. 10.

subfusiformis, Rasp. ; *Plicatula* (?) *obscura* n. sp.; *Crioceras Duvalii*, Lev. ; *Aptychus angulicostatus*, Pict.; *Desmoceras* sp. (les Ammonites souvent transformées en hématite); il signale, par endroits, au Sud de Choumla, la présence de la célestine.

Barrémien (33). — Les coupes du Barrémien les plus caractéristiques se trouvent aux environs de Rasgrade. Elles ont été étudiées en détail par M. Toula (*), qui les rapproche du Barrémien situé dans le Sud des Alpes françaises. J'ai pu examiner ce terrain en divers points fossilifères, notamment à l'Ouest de Rasgrade à Hiouçenja et Drenovitz, ou, 30 kilomètres plus à l'Est, à Bouyoukloukiou et Kiökledja.

A Hiouçenja, au Sud de la vallée de Rasgrade, le Barrémien affleure sur plus de 100 mètres de haut, recouvert par de l'argile de décalcification et des alluvions à galets roulés. Il est composé d'alternances de marnes et de bancs de calcaires marneux minces (0,05 à 0,20), où j'ai recueilli à divers niveaux, assez abondamment : *Nautilus bifurcatus; Crioceras Emerici; Amm.* (*Desmoceras*) *difficilis; Echinospatangus Ricordeaui; Bel. minaret* et *Bel. semicanaliculatus* (faune analogue à celle décrite par M. Toula). A la base, on a des marnes plus bleuâtres.

En traversant la vallée au Nord vers Drenovitz, on trouve, par suite de la pente des couches, des niveaux supérieurs aux précédents : ce qui permet d'établir la coupe complète.

(*) *Denkschr. d. K.K. Ak.*, 1890, p. 336 ; — *ibid.*, 1896, p. 10.

Drenovitz	Cote 265 à 300. — Escarpements de calcaires oolithiques..............	35 mètres
	Cote 220. — Calcaire marneux et marnes avec *Crioceras*, *Echinospatangus Ricordeaui*, etc....................	45 —
	Cote 210. — Calcaire marneux criblé de rhynchonelles..................	10 —
Hiouçenja	Marnes et calcaires marneux en bancs minces...........................	110 —
	Marnes bleuâtres......................	
		200 mètres

En dehors des 200 mètres environ relevés sur cette coupe, le Barrémien se prolonge, à sa partie supérieure, par une série de bancs calcaires, que l'on recoupe en traversant le plateau du Nord au Sud et qui forment, notamment, à l'Ouest d'Achlar, des falaises dans les vallées assez profondes où les sources de Bouyoukloukiou font couler une petite rivière, absorbée plus au Nord par les calcaires à Réquiénies.

A Kiokledja, on trouve en abondance *Nautilus bifurcatus*, *Natica*, avec de grandes Exogyres carénées.

Un peu plus à l'Ouest, auprès des sources, les calcaires sont visibles sur 30 mètres de hauteur avec une très grande abondance des Exogyres carénées.

Les sources, individuellement assez médiocres, qu'on voit suinter en divers points du thalweg de la vallée, n'ont aucun caractère de niveau hydrostatique important et général; on doit seulement retenir que le Barrémien contient, surtout à sa partie supérieure, des calcaires fissurés laissant passer les eaux et, à la base, une grande épaisseur de marnes, visibles à Hiouçenja. Néanmoins, même les bancs supérieurs sont loin d'être aussi complètement perméables aux eaux que le Sarmatique ou le calcaire à Réquiénies, et quelques bancs marneux peuvent y provoquer des sources adventives.

La relation de ces calcaires barrémiens avec les calcaires à Réquiénies est généralement peu visible. Cependant, au Nord de Rasgrade, quelques vallées permettent de l'apercevoir. Le passage des calcaires perméables et fissurés aptiens aux calcaires plus marneux du Barrémien est, d'ailleurs, marqué par des sources fréquentes et par une nappe d'eau qui alimente des puits.

Ainsi, à l'Ouest de Kemanlar, la source d'Iousenlou, à ce niveau, donne 1.500 litres par minute et fait tourner un moulin. Il en est de même plus à l'Ouest, à Dikilitatsch et Toptschikiou, où j'ai pu voir, au-dessus des bancs à Exogyres, des calcaires plus marneux, des bancs oolithiques à Bryozoaires, Crinoïdes, etc., et des calcaires massifs, que recouvrent les bancs de l'étage à Réquiénies, toujours immédiatement reconnaissables à leurs nombreuses cavités de tous genres.

Aptien inférieur. — *Calcaires à Réquiénies* (34). — Les calcaires à Réquiénies jouent un rôle très important dans tout le Deli-Orman, où ils forment partout le soubassement au-dessous du lœss et où, contrairement à ce que figuraient les anciennes cartes, ils apparaissent avec une large extension dans toutes les vallées.

Ce sont, en général, des calcaires blancs durs, criblés de cavités et perforés de vides de tous genres et de toutes dimensions, où disparaissent les eaux par un phénomène qui a été tout spécialement étudié dans le Karst. Presque toujours ces calcaires forment des bancs massifs épais, mais bien stratifiés, entre lesquels ne s'intercale aucun lieu argileux ni marneux (*fig.* 2). Dans les vallées Nord-Sud, où l'on peut bien les observer au Nord de Rasgrade, on voit ces bancs calcaires, presque horizontaux dans leur ensemble, manifester de nombreuses ondulations. Par endroits, les fossiles y sont très abondants à l'état de moules, notamment dans les vallées voisines d'Akkadanlar, au

village de Sart-Alan Hasse (près Balbounar) et près de Routschouk.

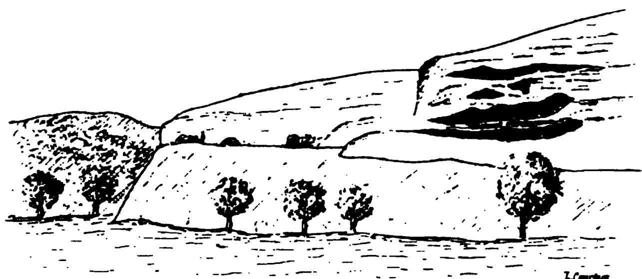


FIG. 2. — Vallée dans les calcaires à Réquiénies, après Toptschikiou.

J'ai recueilli à Sart-Alan Hasse des échantillons qui, d'après l'examen de M. Douvillé, contiennent *Requienia Ammonia* (?) et *Req. gryphoides*, avec de nombreuses *Nerinea*, *Cerithium*, *Trochus*, et appartiennent, par suite, à la base de l'Aptien ou au sommet du Barrémien. Ces calcaires formeraient donc la continuation directe du Barrémien proprement dit, auquel on croit, en effet, les voir passer progressivement dans les rares vallées, telles que celle de Kokardja, où l'on peut examiner le passage.

Cette détermination correspond avec l'étude faite par M. Toula sur les calcaires analogues de la vallée du Lom au Sud-Ouest de Routschouk, notamment sur ceux qui sont exploités là près de Krasen (*). La faune qu'il a signalée est : *Requienia Petersi* Toula; *Req. Ammonia* Goldf.; *Monopleura* aff. *trilobata* d'Orb.; *Trochus Zlatarskii* Toula; *Trochus Rutschtschukensis* Toula; *Cyprina Isteriana* Toula, etc.

Dans cette région Ouest, ces calcaires à Réquiénies sont surmontés par des calcaires à Orbitolines, qui se développent également sur la rive droite du Danube vers Pirgos, Metschka, etc.

(*) *Denkschr. d. K. K. Ak.*, 1892, p. 1 à 9, et Pl. I à III.

Il est à noter que, précédemment, Peters (tout en considérant les calcaires de Krasen comme miocènes) avait assimilé ceux de la rive du Danube avec les calcaires de Tchernavoda (Dobroudja roumaine), dont il a été question plus haut à propos du Jurassique. Il semble, en effet, y avoir à Tchernavoda des calcaires analogues appartenant au Jurassique supérieur; mais, pour ceux de Deli-Orman, qui nous intéressent seuls ici, la stratigraphie est d'accord avec la paléontologie pour faire admettre un âge crétacé.

Calcaires à Orbitolines (*Cénomanien*) (36). — Les représentants du calcaire à Orbitolines sont très disséminés et restreints dans la région étudiée. Les plus importants sont ceux des environs de Kotel, qui forment une large zone Est-Ouest entre Kotel et le col de Kasau et sont là perforés de cavités donnant lieu aux réapparitions de sources vauclusiennes des environs de Kotel.

Plus à l'Ouest, dans le Balkan plissé, j'en ai signalé l'au dernier des témoins au centre de la formation charbonneuse de Radevtsi, et je les ai rattachés à la formation importante du même étage étudiée par M. Toula au Nord de Tirnovo, vers l'Ouest, dans la direction de Plevna, ou, vers le Nord, dans la direction du Danube.

Aux environs de Routschouk, M. Toula a également montré le développement des calcaires à Orbitolines au-dessus des calcaires à Réquiénies dans toute la vallée du Lom.

Enfin je signalerai un spécimen isolé de calcaire à Orbitolines recueilli par moi près de Kourdéré à 20 kilomètres Nord de Provadia au-dessus du Barrémien.

Turonien (37) **et Sénonien** (38) (*Craie supérieure*). — La craie supérieure, comprenant deux divisions (Turonien et Sénonien), couvre en stratification discordante les terrains infracrétacés de la Bulgarie. Dans l'intervalle il

existe parfois des représentants très isolés de calcaires à Orbitolines cénomaniens, qui viennent d'être signalés et

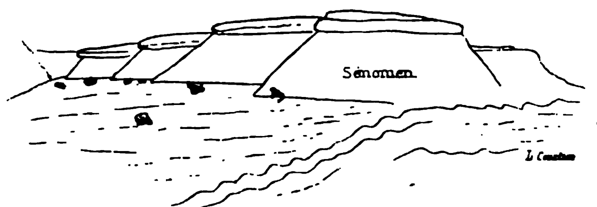


Fig. 3. — Profil de la vallée de Provadia entre Eidjékiou.

dont le rôle tectonique parait être différent, et l'on voit apparaître, à l'époque campanienne, la formation lagunaire

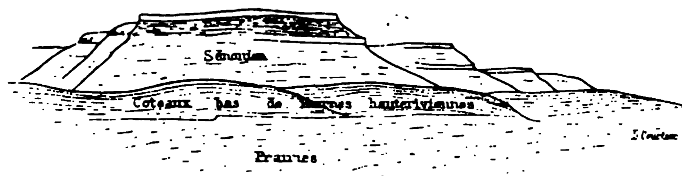


Fig. 4. — Profil vu de la ligne du chemin de fer près Eski-Stamboul (Preslav) dans la direction de Choumla.

charbonneuse des Balkans, décrite l'an dernier (*). Les dépôts crayeux turoniens et sénoniens couvrent, au contraire,

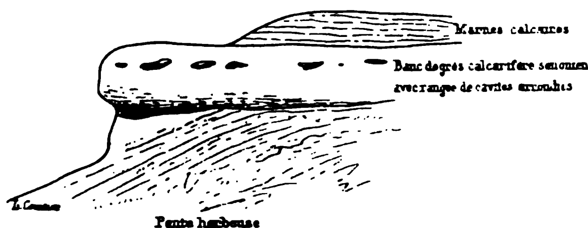


Fig. 5. — Profil du Sénonien au-dessus de Nevtcha.

de vastes espaces, et leurs épaisses masses de marnes

(*) *Annales des Mines*, mars 1905.

blanches avec intercalations de bancs durs jouent, dans l'orographie du pays, un rôle important. Ce sont eux notamment qui, dans toute la région de Choumla à Provadia et Varna, forment ces vastes plateaux horizontaux, coupés de gorges profondes en cañons, que l'on peut voir de la ligne du chemin de fer (*fig.* 3, 4 et 5). Ce supracrétacé repose, tantôt sur les marnes de l'Hauterivien, tantôt sur les calcaires barrémiens. Les points où l'on peut le mieux observer sa coupe sont Provadia et Choumla, où ce terrain est mis à nu par des vallées d'environ 200 mètres de profondeur. Il est remarquable que cette formation se prolonge, avec des caractères presque identiques, dans l'Est, jusqu'en Perse. A l'Ouest, on la suit à Plevna, Tirnovo, etc.

A Provadia, la coupe est la suivante :

Sénonien supérieur (39)	5. Grès calcaire à *Ostrea vesicularis*, formant, au sommet du plateau, un banc épais généralement souscavé et coupé en escarpement..	20 mètres
Turonien supérieur (37)	4. Marnes sableuses à *Lima*, *Inoceramus*, *Pecten*, *Janira*, avec intercalations d'un petit banc dur gréseux........................	35 —
	3. Grès glauconieux à ciment calcaire formant une seconde terrasse inférieure....................	10 —
	2. Formation de marnes sableuses à exogyres......................	15 —
	1. Epaisse formation de marnes calcaires blanches avec intercalations de quelques bancs plus durs; plus de........................	100 —

A Choumla, les coteaux crayeux renferment, du haut en bas, d'après une coupe de M. Toula que j'ai pu revoir au fond de la vallée de Choumla (*), en partant du parc de la ville :

(*) *Denkschr.*, 1890, p. 41, avec détail de la faune; — *ibid.*, 1896, p. 9

Sénonien supérieur (39)	6. Calcaires sableux à silex, avec *Ostrea vesicularis*, *Inoceramus Crispi*, *Ananchytes ovatus*, *Rhynchonella plicatilis*, *Terebratulina*, etc......	50 mètres
	5. Banc de grès friable à ostracées, bryozoaires et rhynchonelles....	
	4. Bancs plus épais (jusqu'à 10 mètres) avec coquillages (*Ostrea*, etc.)...	
Turonien (37)	3. Grès bancs avec *Rh.* cf. *sulcata*....	100 —
	2. Grès friables, avec Bivalves et Échinodermes indéterminables.....	
	1. Bancs épais de grès calcarifère et marneux à grain fin avec un peu de glauconie, arrondis par l'érosion et sans fossiles............	

Dans cette coupe, quelques alternances de niveau sableux et argileux déterminent des niveaux de sources.

Éocène (Lutétien inférieur) (44). — L'Éocène, dont M. Toula a retrouvé des témoins disséminés en divers points de la Bulgarie, près Tirnovo, entre Gabrovo et Trevna, près de Slivno, etc., occupe une zone plus étendue quoique encore bien localisée, à l'Ouest de Varna, depuis Aladin jusqu'aux environs de Provadia. Il apparaît là en discordance sur les divers étages crétacés et s'enfonce avec une légère pente Est. sous les terrains miocènes de Varna.

De grandes carrières y ont été ouvertes sur le bord Nord du Devninski Liman, près d'Aladin, pour fournir les matériaux nécessaires à la construction des quais de Varna. Ce sont des calcaires à Nummulites et Assilines qui deviennent quartzeux par endroits. Ailleurs, par exemple dans la région dont nous étudierons bientôt la curieuse érosion columnaire, on a un grès fin à ciment calcaire. Sur le plateau entre Provadia et Devna, on peut voir, au-dessus du Sénonien, des alternances de bancs durs à Nummulites et Alvéolines et des lits sableux.

Au Sud de Provadia, on observe le contact de ce terrain avec la craie sénonienne, à laquelle il se superpose. Malgré l'aspect à peu près horizontal que présentent tous ces terrains, on voit là s'accuser nettement leur pente vers le Sud-Est, qui, d'Eidjékiou à Provadia et plus au Sud, amène successivement, dans le fond de la vallée, l'Hauterivien, le Sénonien et l'Éocène.

A Gebetsch, au Sud du Liman, on a, d'après Toula, des couches tout à fait inférieures de l'éocène, et l'on peut voir, en superposition directe et en concordance sur la craie à *Belemnitella mucronata*, d'abord les couches à Nummulites, puis l'Oolithe miocène à Pecten.

La forêt de colonnes de Dikilitatsch (entre Karagel et Gebetsch) a été signalée, dès 1857, par Spratt et décrite en détail par Toula en 1890 et 1892 (*). C'est un phénomène d'érosion très intéressant.

Il y a là, sur une sorte de terrasse située vers la cote 80, immédiatement au Sud de la route de Varna à Devna, toute une série de colonnes absolument cylindriques, qui atteignent 5 à 6 mètres de haut. Ces colonnes, dans lesquelles se creusent des divisions horizontales des bancs et souvent de longues cannelures verticales, ont un caractère de ruine antique, qui attire aussitôt l'attention. D'après Toula, un grand nombre d'entre elles seraient, en outre, creuses à l'intérieur, comme un tuyau de cheminée. A leur pied est un sable fin criblé de petites Nummulites plates, comprenant, d'après les déterminations de M. Douvillé : *Nummulites distans*, *N. rotularius ; Assilina proespira*, *Ass. granulosa ; Orthophragmina discus*.

La zone, qui peut avoir 50 à 100 mètres de large, se prolonge avec une direction Nord-Sud. Quand on cherche à analyser l'origine du phénomène (c'est-à-dire le mode

(*) *Denkschr. d. K. K. Ak.*, 1890, p. 66; — *ibid.*, 1892, p. 14.

d'érosion, puisque le phénomène d'érosion en lui-même n'est pas douteux), on constate d'abord nettement que ces colonnes sont des fragments subsistants des bancs gréseux, découpés par des fissures verticales, qui forment de petites coupes plus à l'Ouest. Il semble voir un lit de rivière, dans lequel se sont produits des mouvements tourbillonnaires analogues à ceux des marmites de géants, mais avec un résultat inverse.

D'après Toula, le même phénomène se retrouverait, sur le même alignement Nord-Sud, au delà de la dépression des Limans de Devna, en divers points des environs de Gebetsch, et, un peu plus à l'Ouest, il existerait une traînée semblable.

Faut-il chercher une relation entre cette érosion récente et les mouvements du sol, auxquels on attribue le creusement des Limans eux-mêmes? C'est une question bien délicate, mais intéressante, qui peut se poser aussi pour beaucoup d'autres grands phénomènes d'érosion karstique en divers pays.

Oligocène inférieur (47). — Ce terrain, reconnu par M. Toula près de Bourgas, n'a pas encore été retrouvé dans notre région.

Miocène. — Couches à Spaniodon, Pecten et Helix (*) (50). — Je me contente de mentionner, d'après M. Toula, l'existence de ces couches miocènes, inférieures au Sarmatique, qui existent autour de Varna des deux côtés de la baie et que je n'ai pas eu l'occasion d'examiner en détail. Leur facies rappelle les coupes de Crimée.

La coupe de Varna comprend, de haut en bas :

6. Grès et sables marneux sans fossiles, peut-être déjà sarmatiques.
5. Marnes fines à petits *Cardium* écrasés.

(*) Toula, *Denkschr. d. K. K. Ak.*, 1896, p. 5.

4. Banc marneux à *Spaniodon Barbotii*, couches schisteuses à Diatomées.
3. Couche à *Helix* cf. *Duboisi*.
2. Calcaire à Bryozoaires.
1. Calcaire oolithique à *Pecten* et Bryozoaires(*).

Au Sud de la baie, la coupe est analogue, mais sans le niveau à *Helix*. Tous ces terrains ont une légère pente générale vers l'Est.

Sarmatique (52). — Le Sarmatique se présente sous deux formes diverses : type marin vers la mer Noire, type lacustre dans la vallée du Danube. Le Sarmatique à type marin, généralement littoral, occupe, comme M. Toula l'avait supposé, tout le plateau de la Dobroudja entre Varna, la mer Noire et la frontière roumaine, masqué seulement par des dépôts de lœss assez peu épais pour le laisser aisément reconnaître. Vers l'Ouest, il passe par-dessus les calcaires à Réquiénies aptiens qui se montrent dans tous les fonds de vallées ; un peu plus au Sud, par-dessus les calcaires barrémiens. Dans cette région Ouest, il est manifestement discordant sur tous les terrains antérieurs, et sa base même fait défaut. Soit à Kourtbounar, soit à Adzemler, près Varna, on passe des calcaires supérieurs du Sarmatique à un étage géologique plus profond sans traverser les grandes épaisseurs de marnes qui forment la base du Sarmatique près de Baltchik.

Les falaises de la mer Noire, de Baltchik à Kavarna et Kajavenkiou, donnent une excellente coupe de ces terrains, par suite de la pente générale des strates vers l'Est, qui amène successivement au bord de la mer des couches de plus en plus récentes. Bien que le temps m'ait

(*) Nous retrouverons des calcaires oolithiques dans la coupe du sarmatique.

manqué pour faire des recherches paléontologiques approfondies, je peux ainsi ajouter quelques indications à la coupe de Baltchik, qui a été seule donnée par M. Toula (*). J'ai relevé, par exemple, à Kajavenkiou, la coupe suivante (4) :

Calcaire en bancs épais, formé d'une Lumachelle de Gastropodes, *Nassa*, *Cardium*, etc. (cote 27 à 37 au-dessus de la mer).		10 mètres
Calcaires en bancs plus ou moins épais, avec niveaux intercalés de lumachelles à *Mactra* et banc à types divers de *Mactra*, dont on trouvera la détermination plus loin à la cote 17........	}	17 mètres
Calcaires oolithiques divisés en bancs irréguliers........................	}	
Calcaires subcristallins avec banc à lumachelle et bancs oolithiques.......	}	
Lumachelle de *Mactra* très grenue........................		6m,50
Calcaire compact cristallin............................		2 ,20
Banc de coquilles finement brisées (au niveau de la mer).		1 ,00

D'après d'autres coupes, l'épaisseur totale de ces bancs durs, lumachelles, calcaires oolithiques, etc., peut atteindre 60 à 80 mètres. Les coupes de Kavarna et de Baltchik en donnent seulement la base.

En descendant du village de Kavarna à la mer, on a (cote 140 à 110 au-dessus de la mer) :

3	Bancs minces décollés de calcaire lumachelle à *Mactra* (couleur orange)....................	4m,00
	Bancs plus marneux et friables avec fossiles analogues..	3 ,50
	Bancs minces durs à *Mactra* comme les bancs supérieurs................................	2 ,50
	Gros banc de lumachelle.......................	0 ,80
	Bancs minces de lumachelle présentant un aspect décollé et caverneux à l'affleurement.........	19

(*) *Denkschr.* de 1892, p. 26; de 1896, p. 4.

***Niveau d'eau de tout le plateau entre les calcaires et les marnes* (cote 110).**

2	**Marnes blanches avec *Helix* cf. *Melanostoma* et *H. orbiculus* abondants (*fig.* 6 et 7) (*), bivalves analogues à ceux des couches supérieures, *Mactra podolica*, *Mactra bulgarica* (très polymorphe), *Mactra ponderosa* Eichw. (toutes ces coquilles ayant leur test et remarquables par leur conservation)**	**110**

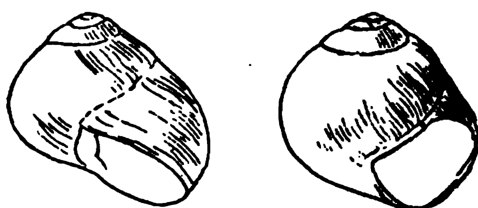


Fig. 6. — *Helix* cf. *melanostoma* (grandeur naturelle).

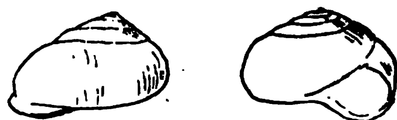


Fig. 7. — *Helix orbiculus* (grandeur naturelle).

Ces marnes blanches ont ici 110 mètres d'épaisseur et renferment, du haut en bas, des fossiles analogues.

Enfin, la coupe de Baltchik est plus complète pour les couches inférieures :

3	Calcaire à gros bivalves (*Mactra*, etc.) en bancs durs. Calcaire caverneux à lumachelle de *Mactra podolica*	40 mètres

(*) Voir les figures ci-jointes 6 et 7. Ces fossiles terrestres, très abondants à Kavarna, ne figurent pas dans les coupes de Baltchik relevées par M. Toula, et je ne les ai pas recueillis, en effet, en ce dernier point. Ils indiquent la proximité d'un rivage dont nous allons voir un autre preuve en retrouvant près de là, dans la vallée du Danube, le même niveau à l'état lacustre.

2	Calcaires marneux et marnes grises feuilletées, à bivalves avec leur test, donnant, après exposition à l'air, des marnes très blanches. Ces couches renferment, d'après M. Toula, *Cardium obsoletum* avec *Cardium Michailowi* n. sp.	
1	Marnes blanches minces avec *Turbo, Mactra podolica, Mactra bulgarica, Trochus, Cardium, Paludina, Buccinum*, etc............	110 mètres

La coupe complète est donnée par la superposition 1, 2, 3, 4 et correspond à une épaisseur minima de 200 mètres.

Le *Sarmatique lacustre* est représenté dans la vallée du Danube, entre Totrakan et Routschouk, par des calcaires, souvent fétides et bitumineux, à très nombreux moules d'Helix, Planorbes, etc. contenant, en particulier, le même Helix que dans la coupe de Baltchik : *Helix* cf. *melanostoma* avec *Planorbis cornu*, *Planorbis* sp., *Succinea minima*, *Valvata contorta* (?).

Miocène supérieur. — Pontien (53). — Dans la vallée du Danube, M. Toula a reconnu, à l'Ouest de Routschouk, près Pirgos, des couches à Congéries.

Pleistocène (57). — A ce propos, il y a lieu de mentionner les couches marines récentes de la région de Varna, au Sud du Liman de Devna, pour leur importance théorique. Toula les a rapprochées de couches analogues aux environs de Bourgas et dans les Dardanelles.

Lœss (*Diluvium*). — Cette formation joue un très grand rôle pratique dans toute la région que j'ai eu à étudier. Sa zone d'extension est très vaste, et il en existe des témoins dans toute l'étendue de la carte ; mais elle a surtout l'importance d'un terrain géologique dans la zone danubienne des plateaux au Nord de la ligne Routschouk-Varna. Il est à remarquer que sa grande extension correspond à celle des calcaires que nous signalons, d'autre part,

comme perméables aux eaux et corrodés par elles : les calcaires à Réquiénies et le calcaire sarmatique (*).

On pourrait donc être d'abord tenté de se demander si les phénomènes de décalcification n'auraient pas joué un rôle dans sa formation. Telle n'est cependant pas l'impression que l'on éprouve en l'examinant sur place. Car ce lœss ne ressemble en rien à ces argiles rouges à silex qui occupent une si grande étendue sur les plateaux calcaires de la France. C'est, comme on le sait, une très fine argile sableuse de teinte brune (suffisamment sableuse pour laisser filtrer lentement les eaux), que les érosions ont entaillée suivant des profils caractéristiques et dont les coupes naturelles ou les puits montrent souvent la persistance sur plus de 20 mètres d'épaisseur. Je crois inutile de revenir ici sur les théories connues de sa formation, auxquelles je n'apporte aucun fait nouveau et qui toutes, il faut bien le dire, rendent assez mal compte du phénomène.

Alluvions anciennes du Danube. — Ces alluvions forment des terrasses au-dessus du lœss dans la vallée du Danube, notamment à l'Est de Routschouk.

B. — TECTONIQUE.

La région étudiée présente la trace de deux mouvements très différents : l'un Nord-Sud partant des Balkans, l'autre Est-Ouest dans le sens de la mer Noire. Nous allons les examiner successivement.

En ce qui concerne d'abord les pressions exercées dans le sens Nord-Sud, on a, depuis longtemps, signalé le

(*) Ce dernier peut être considéré comme presque entièrement recouvert par le lœss. Si la teinte du lœss ne lui a pas été attribuée sur ma carte, au risque d'introduire, dans celle-ci, un défaut d'homogénéité apparent, c'est à cause de l'importance que présente, pour l'hydrologie, le Sarmatique et de l'intérêt qu'il y a, par suite, à le mettre en évidence.

contraste entre le Balkan plissé et le plateau prébalkanique, qui forme son avant-pays septentrional et que l'on peut supposer reposant sur un socle solide, sur un voussoir de l'écorce antérieurement consolidé. Ce contraste est encore plus net, en réalité, qu'on ne pourrait le supposer d'après les descriptions et se présente, par exemple, avec une rigueur toute théorique quand on franchit le Balkan par le col de Kasan ; mais il n'en existe pas moins, dans l'avant-pays lui-même, des traces de mouvements (accidents secondaires ou plis posthumes), qu'il peut être intéressant de signaler.

Le principal de ces mouvements, qui se rattache encore au Balkan plissé proprement dit, est mis en évidence sur la coupe ci-jointe (Pl. VII, *fig.* 5); c'est celui qu'accuse le Balkan de Dervent au Nord du Balkan proprement dit. En deux mots, on peut dire qu'au Balkan plissé de Kotel et du col de Kasan succède brusquement au Nord le compartiment aux couches tabulaires à peu près horizontales d'Osman Bazar; mais, au lieu que celui-ci se rattache sans discontinuité, comme on aurait pu croire, à tout le plateau septentrional de Djoumaya, Rasgrade, etc., il s'intercale, entre les deux, une zone sur laquelle l'effort de compression et de dislocation a été porté à son comble : c'est le Balkan de Dervent. On passe donc sans transition, une première fois, des couches plissées aux couches horizontales, et cela très haut dans la descente du col de Kasan vers le Nord ; puis, avec une égale brusquerie, on rentre momentanément à Dervent dans les couches plissées ou plutôt disloquées, redressées jusqu'à la verticale et entièrement brouillées, que la route traverse dans une gorge profonde, et, encore une fois, on retrouve les couches horizontales en sortant de ces gorges avant Djoumaya. On a l'impression, en faisant la route, de descendre successivement deux marches d'un escalier, dont les parties redressées et disloquées formeraient le montant vertical

et les parties tabulaires le plat. Et il semble ainsi saisir sur le vif la façon dont l'effort de compression, exercé par les plis du Sud vers le Nord, a dû entraîner un effort de rupture et peut-être même un déplacement horizontal des strates.

Il est à noter que, dans le plateau d'Osman Bazar, de Beigerli et d'Houjvan, intermédiaire entre les deux zones disloquées, les couches ont le facies Flysch, qui est, en principe, corrélatif de la zone plissée dans les Balkans comme dans les Carpathes; ces terrains du Flysch (peut-être en majeure partie supracrétacés d'après les fossiles rencontrés en certains points), reposent normalement sur l'Hauterivien, qu'on trouve en couches horizontales à leur base dans la dépression de Titchar, avec des caractères analogues à ceux de la zone du plateau prébalkanique, tandis que le Flysch a les caractères du Balkan plissé.

Dans la coupe de Jamboli à Eski-Stamboul (Preslav) par Virbitcha (Vribiča), M. Toula a constaté des caractères identiques (*). Là aussi on a, au Sud, une zone plissée, où des calcaires crétacés de divers genres s'intercalent au milieu du Flysch supracrétacé; puis, après Virbitcha, viennent, jusqu'à Houjvan, les mêmes terrains ordinaires du Flysch (grès à traces de vers et à fucoïdes, schistes argileux, etc...), presque horizontaux, avec une légère pente Sud, et, au-dessous d'eux, dans deux dépressions, à Houjvan et entre Houjvan et Beigerli au Sud, l'Hauterivien également horizontal. Une zone brouillée et disloquée leur succède et, à Eski-Stamboul (Preslav), on rentre, comme à Djoumaya, dans les terrains tabulaires. Parallèlement à cette zone disloquée si immédiatement visible et si nette, nos études de détail ont permis de reconnaître, dans le plateau tabulaire lui-même, deux autres anticlinaux secondaires, qui en sont comme l'écho affaibli.

(*) *Denkschr. d. K. K. Ak.*, 1892, p. 37.

Le premier est jalonné sur la carte par la série de pointements de calcaire valanginien qui apparaissent, sur la ligne de Rasgrade à Provadia, au milieu des marnes hauteriviennes superposées et dont le dernier témoin, invisible à la surface même, paraît prouvé à une très faible profondeur par les abondantes sources artésiennes de Devna. J'ai déjà, en parlant de l'étage valanginien, signalé ces divers pointements, souvent très manifestement bombés, au Sud desquels, comme le montrent les coupes (Pl. VII, *fig.* 1 à 3), les terrains ont un plongement général vers le Sud, tandis qu'au Nord ils plongent vers le Nord. On peut noter, au voisinage de cet axe, à Kasilkaya, le seul petit pointement isolé de roche éruptive que renferme le plateau dans la région étudiée, tandis que les petits pointements de ce genre sont assez fréquemment disséminés dans le Balkan plissé. 120 kilomètres à l'Ouest, on sait d'ailleurs qu'il existe, à Sistov, en plein plateau, un axe volcanique bien caractérisé.

Enfin, dans le plateau sarmatique de la Dobroudja aux apparences si horizontales, l'étude de détail que permet l'hydrologie met en évidence de petits plissements secondaires, dont le principal (Voir la carte ci-jointe, Pl. VI) va de Kouceler dans la direction de Baltchik.

On gagne ainsi peu à peu la Dobroudja roumaine, où, comme on le sait, dans des conditions qui me semblent analogues, reparaît, au milieu de terrains horizontaux, une traînée anticlinale ancienne.

D'autre part, j'ai dit, en commençant, que la région manifestait des mouvements Est-Ouest, dont le terme actuel paraît être l'affaissement de la mer Noire. Peut-être est-on en droit de rattacher déjà à ces mouvements la grande transgression, commencée pendant le Cénomanien, arrivée à son apogée pendant le Sénonien, qui, partant de la Perse, a fait passer, sur toute la Bulgarie, une mer, dont les dépôts crayeux uniformes se retrouvent aujour-

d'hui à peu près horizontaux sur les autres terrains inclinés jusqu'à Plevna et à Tirnovo et, dans notre région, autour de Choumla, de Provadia, etc.

Après le Crétacé, l'Éocène à Nummulites a dû couvrir une grande partie de la Bulgarie, d'après les témoins qui en subsistent disséminés. Aujourd'hui il n'occupe plus, entre Provadia et Varna, qu'un espace très restreint, et sa pente vers la mer Noire est bien accusée ; plus au Nord, s'il a existé, comme c'est probable, l'érosion l'a détruit. Les pentes de ce terrain, dans toute la région de Varna, sont très différentes de celles du Sénonien, beaucoup plus accentuées en moyenne, et, notamment au Sud de Provadia, où l'on peut toucher le contact du Sénonien et de l'Éocène, ce contact se fait avec une brusquerie que ne suffirait pas à expliquer la pente du Sénonien, bien que cette pente, assez faible plus à l'Ouest vers Choumla, se soit fortement accrue du côté de Provadia : il y a là un accident mécanique à peu près certain.

A partir du Tertiaire, les mouvements se précipitent, en même temps que la localisation des terrains marins au voisinage de la mer Noire s'accentue. Quand on cherche les affleurements actuels de ces terrains, qui correspondent dans une certaine mesure à leur extension ancienne, on trouve d'abord, près de Bourgas, l'Oligocène inférieur ; puis, près de Varna, avec une pente générale dans le sens de la mer, les couches à *Spaniodon*, constatées seulement dans une zone très restreinte. Le Sarmatique est plus développé, et peut-être même a-t-il donné lieu à une transgression progressive de l'Est à l'Ouest, car la coupe de cet étage n'est complète et son épaisseur maxima que sur le bord de la mer Noire vers Baltchik ou Kavarna, tandis qu'en arrivant à la bordure Ouest actuelle de ce terrain toute la zone marneuse inférieure de Baltchik ou de Kavarna, sur laquelle nous avons eu à insister pour son importance hydrostatique, paraît faire défaut. A Kourtbounar,

les calcaires supérieurs reposent presque directement sur le calcaire à Réquiénies par l'intermédiaire de bancs oolithiques un peu gréseux à grains de quartz avec débris de coquilles abondants (*Trochus podolicus*, *Nassa corbiana* d'Orb., etc.), dont on observe souvent l'analogue sur la côte dans la partie supérieure de l'étage.

De même, à Adzemler près Varna, on trouve, aussitôt au-dessus des couches à *Spaniodon*, dont les niveaux supérieurs renferment des bancs argileux ou marneux retenant les eaux, des calcaires à moellons parfois oolithiques criblés de *Cardium* et de *Mactra podolica* avec des Gastropodes (*Trochus*, *Buccinum*, etc.), qui sont les calcaires supérieurs du Sarmatique.

Enfin, au Nord-Est, le Sarmatique marin disparaît tout à fait dans la région du Danube pour faire place au type lacustre de Totrakan.

Le Pontien est, comme nous l'avons vu, représenté par des couches à Congéries près de Routschouk.

Puis la mer abandonne la région bulgare, et un dernier mouvement très récent fait remonter les terrains pleistocènes au Sud des Limans de Varna, en déprimant probablement ces Limans eux-mêmes.

C. — Résumé stratigraphique.

En résumé, de cette étude stratigraphique et tectonique, on peut retenir, pour l'hydrologie, quelques faits principaux.

Tout d'abord, la coupe de la région que nous avons à étudier se réduit aux termes suivants de haut en bas : termes dont les premiers, surtout jusqu'au Barrémien, ne sont pas nécessairement représentés dans les coupes et manquent, au contraire, sur de vastes régions :

AGE des terrains	NATURE PHYSIQUE DES TERRAINS	ÉPAISSEUR des terrains maxima
Lœss (Pleistocène) (57)	Terrains de fine argile sableuse, *retenant les eaux superficielles d'une façon suffisante pour alimenter les puits*, mais ne donnant pas lieu à des sources permanentes et pouvant même s'assécher en été	mètres 20 à 40
Sarmatien (Miocène supérieur) (52)	Calcaires supérieurs absolument perméables aux eaux avec *niveau aquifère permanent à la base*. Couches marneuses *retenant le niveau d'eau à leur partie supérieure* et couches argilo-calcaires avec *Mactra, Helix*, etc.	80 à 100
Miocène inférieur ? (50)	Couches à *Spaniodon*, représentées seulement au Sud de Varna, avec quelques bancs argileux ou marneux retenant les eaux dans leur partie haute (Sources d'Adzemler, etc.)	100
Lutétien (Eocène supérieur) (44)	Grès calcarifères, sables et calcaires nummulitiques localisés à l'Ouest de Varna, *perméables aux eaux*.	40
Sénonien (Supracrétacé) (39)	Bancs alternants de craie marneuse et sableuse avec deux ou trois gros bancs gréseux formant terrasses. Ensemble généralement perméable aux eaux, mais donnant lieu à *divers niveaux aquifères* au-dessus des bancs marneux. Cet étage se divise en deux parties	200 à 220
Aptien inférieur (Infracrétacé) (34)	Calcaires à Réquiénies (représentés seulement dans une zone de 50 kilomètres de large au Sud du Danube). Calcaires *absolument perméables aux eaux et sans aucun niveau d'eau*	300 à 400
Barrémien (Infracrétacé) (33)	Étage divisé pratiquement en deux parties : au sommet, des calcaires durs perméables aux eaux, avec *niveau aquifère à la base pouvant prendre l'allure artésienne*. Calcaires plus marneux retenant les eaux au-dessus d'eux. Des bancs plus perméables peuvent donner lieu *à un niveau d'eau à la base*	80 200
Hauterivien (Néocomien moyen) (32)	*Marnes imperméables aux eaux, donnant lieu à un niveau d'eau à leur sommet et à une nappe artésienne à leur base* (nappe des sources de Devna).	200 à 300
Valanginien (Néocomien inférieur) (32)	*Calcaires perméables aux eaux*	400

En second lieu on peut retenir que la ligne Routschouk-Varna forme, de Schaitandjik à Provadia, un axe anticlinal, au Nord duquel les terrains crétacés plongent en moyenne vers le Nord, tandis qu'au Sud ils plongent vers le Sud. Dans la région Est, les terrains tertiaires ont, au contraire, une pente générale vers l'Est.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE HYDROLOGIQUE.

Comme nous l'avons vu, il y a lieu de distinguer complètement le plateau sarmatique de la Dobroudja à l'Est de Dobritcha et le pays karstique des calcaires à Réquiénies dans le Deli-Orman à l'Ouest.

A. — Hydrologie du plateau de Dobritcha, Kavarna et Baltchik.

La région voisine de la mer Noire, qui constitue, entre Varna, Dobritcha, Kourtbounar et la frontière roumaine, la Dobroudja proprement dite, présente des caractères généraux très uniformes, et des phénomènes d'hydrologie souterraine d'une netteté très remarquable. C'est un vaste plateau, formé tout entier, sous un manteau peu épais de lœss, par des terrains sarmatiques (miocène supérieur) : la pente topographique du plateau, conforme à celle des strates elles-mêmes qui ont dirigé le travail des érosions, incline en moyenne vers le Nord-Est, de Dobritcha ou Varna vers la côte Nord-Sud qui va de Mangalia au cap Gulgrad. On a donc là une sorte de bloc prismatique recouvert par une face plane inclinée, qui, au Sud-Ouest, s'élève à 300 mètres et, au Nord-Est, s'enfonce en pente douce vers la mer. Au Nord-Est, on

voit ainsi les falaises disparaître peu à peu, le plateau s'abaisser et faire place à la dépression de la Dobroudja roumaine avec ses étangs et ses marécages situés presque au niveau de la mer. Au contraire, entre le cap Gulgrad, Kavarna et Baltchik, dans le sens de l'Est à l'Ouest, les falaises grandissent, elles atteignent 160 mètres à Baltchik. A Varna, les hauteurs, qui dominent presque immédiatement la mer, sont de 300 mètres, et, vers le Nord, dans le sens de Dobritcha, toute la partie Ouest du plateau oscille autour de 200 mètres.

Si l'on veut maintenant se rendre compte de l'hydrologie du plateau, il faut se rappeler les propriétés physiques des divers terrains qui le constituent en profondeur.

1° Puits du lœss (*Diluvium*). — A la surface nous avons d'abord le lœss (ou diluvium), c'est-à-dire une fine argile sableuse de teinte brune, dont l'épaisseur ne paraît guère dépasser ici une vingtaine de mètres, mais atteint 30 et 40 mètres au-dessus des calcaires à Réquiénies du Deli-Orman en se rapprochant du Danube.

Ce lœss ne contient pas, à proprement parler, de niveau d'eau ; il constitue cependant, là où son épaisseur est un peu forte, une ressource en eau très notable, bien que sujette à tarir pendant les sécheresses de l'été, dont se contentent de très nombreux villages, aussi bien dans la région du calcaire à Réquiénies que dans la région du calcaire sarmatique. Le rôle du lœss est, d'ailleurs, identique dans les deux cas, et j'examinerai, dès à présent, l'ensemble de la question pour ne plus avoir à y revenir.

Voici quel paraît être le rôle hydrologique du lœss. Ce terrain, que j'ai comparé précédemment à un feutre spongieux, absorbe les eaux pluviales et, quand on y creuse un puits, le drainage établi par celui-ci dans les parties avoisinantes détermine un afflux d'eau ; le puits

agit donc dans un champ de drainage périphérique, que l'on peut assimiler grossièrement à un cône ayant pour axe le puits et dont la base serait à la surface. Il est facile de se rendre compte que le volume de ce cône s'accroît rapidement avec la profondeur du puits, à la condition, bien entendu, qu'on ne dépasse pas la zone du lœss pour pénétrer dans les calcaires sous-jacents, ce qui amènerait la perte complète des eaux. En outre, on comprend que des puits suffisamment éloignés l'un de l'autre pour avoir un champ de drainage distinct ne se nuisent pas l'un l'autre, comme ils pourraient le faire dans un terrain à fissures plus larges et à circulation d'eau plus facile. On a donc, pour augmenter le débit d'eau, deux moyens : approfondir les puits et les multiplier. Mais, de toute façon, de tels puits ne peuvent constituer qu'une ressource éphémère, puisque, au lieu de puiser dans une nappe générale d'alimentation lointaine, comme le font les sources permanentes, ils se bornent à vider une sorte de récipient restreint de nature spéciale, où l'eau de pluie a commencé par s'emmagasiner. Il est donc tout naturel que ces puits du lœss soient exposés à se tarir en été, précisément au moment où le besoin d'eau se fait le plus sentir dans les campagnes.

J'ai pu examiner, dans un très grand nombre de villages, de semblables puits du lœss : puits généralement assez profonds pour qu'on y applique ordinairement le procédé du balancier, et parfois le système du rouet à axe vertical, ou à bras d'hommes, ou au moyen d'un manège.

La région, où ce genre de puits joue le rôle principal dans l'alimentation, est surtout celle qui s'étend, à l'Ouest de Kourtbounar, vers Akkadanlar, Kemanlar et Balbounar, c'est-à-dire le Deli-Orman à sous-sol de calcaires à Réquiénies. Sur le plateau sarmatique, en effet, tant que la partie inférieure et marneuse de cet étage

existe, on peut, comme je le dirai bientôt, avec des puits de 60 mètres au maximum, aller chercher à ce niveau marneux une eau abondante, et c'est la solution partout adoptée dans les grandes fermes ou les villages de Dobroudja. Au contraire, là où le calcaire à Réquiénies arrive au jour ou forme le soubassement immédiat d'un mince étage sarmatique supérieur, lui-même formé de calcaires perméables, comme à Kourtbounar, les puits profonds constituent une ressource difficile, à laquelle on n'a songé que très récemment, et la population turque, qui domine dans tout ce pays à réputation sauvage, s'est contentée, soit des puits dans le lœss, soit des mares et étangs destinés à recueillir l'eau des pluies. Quelques exemples vont préciser les conditions pratiques.

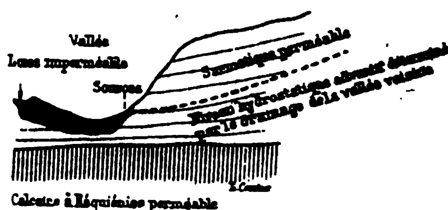


Fig. 8. — Coupe théorique à Kourtbounar ou à Gjoullerkiou.

A Kourtbounar (cote 235), les calcaires sarmatiques, en bancs bien réglés, épais d'environ 40 mètres, reposent sur les calcaires à Réquiénies (*fig.* 8). Il existe peut-être, dans la partie inférieure de ce Sarmatique, quelques premiers bancs marneux qui donnent des sources, mais les marnes proprement dites et le grand niveau d'eau de cet étage n'apparaissent pas. Les sources se trouvent surtout au contact de calcaire perméable et du lœss peu perméable remplissant le fond de la vallée: cette vallée remplie de lœss déterminant un niveau hydrostatique adventif dans le sarmatien perméable. Et l'on a de plus recours aux puits creusés dans le lœss, qui tarissent parfois complètement.

Un peu plus au Sud de la même vallée, les phénomènes sont semblables à Gjoullerkiou.

Vers l'Ouest, ces conditions s'accentuent sur tout le plateau du Deli-Orman. Je citerai, par exemple, la région située au Sud d'Akkadanlar. A Tcharvi (cote 295), on a des puits de 8 à 12 mètres, allant même jusqu'à 17. Les habitants se plaignent de manquer d'eau après un hiver sans neige ou pendant un été trop sec ; mais ils n'ont actuellement qu'un puits pour 40 maisons : ce qui, d'après une remarque précédente, est évidemment insuffisant. Il suffirait de multiplier le nombre des puits, et, sans doute, de les approfondir : le lœss ayant souvent, dans cette région, jusqu'à 40 mètres d'épaisseur.

Au Sud-Est de ce village de Tcharvi, le village de Mahmousli, où le lœss n'a qu'une épaisseur insignifiante et où l'on arrive presque aussitôt aux calcaires sous-jacents, manque presque complètement d'eau. Au contraire, au Sud-Ouest de Tcharvi, à Hassanlar, le lœss plus épais donne des puits presque intarissables, où vont puiser les habitants de toute la région pendant les sécheresses trop grandes.

Toujours dans la même région, mais à l'Ouest d'Akkadanlar, les nombreux villages turcs, qui se groupent avant Kemanlar, Taschlimakiou, Ioukla, etc., prennent également l'eau par des puits de 5 à 6 mètres creusés dans le diluvium.

Enfin je citerai encore, au Nord de Balbounar, le puits d'Alan Bounar près d'Hasradin, puits de 6 à 8 mètres dans le lœss, où les habitants viennent puiser presque toute l'année, malgré le voisinage du puits à moteur de Kachlakiou dont je parlerai bientôt.

2° Puits du niveau d'eau sarmatique. — En dehors des puits creusés dans le lœss dont je viens d'indiquer les caractères, toute la région de la Dobroudja, bien que man-

quant d'eau à la surface sous forme de sources ou de rivières, possède une ressource d'eau souterraine très abondante, que les habitants connaissent bien, qu'ils utilisent un peu partout et dont il pourrait seulement y avoir lieu de faciliter un peu l'extraction par des engins mécaniques.

Si l'on se reporte, en effet, à la coupe géologique donnée précédemment, on voit qu'au-dessous du lœss, dont l'épaisseur ici ne dépasse guère une vingtaine de mètres, cette région est constituée par l'étage sarmatique, dont les terrains supérieurs les plus durs, formés de calcaires compacts, ont le mieux résisté à l'érosion et occupent par conséquent la plus grande partie du plateau. Ces calcaires peuvent avoir jusqu'à 80 mètres d'épaisseur. Ils sont composés de bancs durs plus ou moins épais, dont le caractère hydrologique essentiel est d'être tout à fait fissurés et perméables aux eaux ; toutes les précipitations pluvieuses s'y absorbent et descendent en profondeur jusqu'à ce qu'elles aient une raison pour s'arrêter : c'est-à-dire, en principe, jusqu'à ce qu'elles rencontrent une strate imperméable ou jusqu'à ce qu'elles arrivent à la surface d'équilibre hydrostatique déterminée par le niveau permanent des eaux dans la vallée d'un fleuve voisin ou dans la mer. En Dobroudja bulgare, ce dernier cas n'est réalisé qu'au voisinage immédiat de la mer Noire, où, quand on arrive un peu au-dessus du niveau de la mer, on trouve, dans les puits, l'eau douce, maintenue en équilibre de vases communicants par la pression de l'eau salée voisine. Partout ailleurs, l'arrêt dans la descente des eaux est réalisé par la rencontre en profondeur des marnes, épaisses de plus de 100 mètres, qui forment toute la partie inférieure du Sarmatique. Il en résulte donc, au contact des calcaires sarmatiques supérieurs perméables et des marnes inférieures imperméables, un niveau général d'une netteté presque théorique, qui ali-

mente toutes les sources de la côte entre Balthick et le cap Gulgrad, qui fournit aussi la plupart des sources situées à l'Ouest du plateau, quand, soit les falaises, soit les vallées le mettent à nu et qui, partout ailleurs, alimente encore les puits. La région où existent des sources ne nous intéresse pas ici, puisque, en principe, elle ne manque pas d'eau ; celle où ces sources font défaut se trouve, en ce qui concerne le problème posé de l'alimentation en eau, dans des conditions géologiques parfaitement déterminées. On peut dire que, partout où l'on voudra de l'eau, il suffit de creuser un puits jusqu'à la surface géologique de contact entre les calcaires et les marnes et qu'en arrivant à ce contact on trouvera toujours, dans le calcaire, quelques fissures donnant de l'eau. Cette eau, bien entendu, n'est pas artésienne, c'est-à-dire qu'elle ne monte pas spontanément à la surface ; elle s'élève seulement dans le puits à un niveau plus ou moins élevé, correspondant à la surface d'équilibre théorique, qui est mieux réalisée dans le puits jouant le rôle de manomètre que dans les fissures irrégulières du calcaire (*), et c'est là qu'on doit aller la chercher par des moyens élévatoires.

L'importance de cette surface hydrostatique pour le pays de Dobritcha m'a conduit à essayer d'en donner une représentation graphique par courbes de niveau, en déterminant les cotes absolues du niveau de l'eau dans les divers puits par la cote absolue de leur orifice et la profondeur du puits jusqu'à l'eau, ou, dans la partie Ouest, qui n'a pas de semblables puits, en utilisant les niveaux des sources. Il ne faut pas, en effet, s'imaginer que cette surface hydrostatique, correspondante à une surface

(*) Si l'on relève en chaque point, d'une part, le niveau géologique de contact entre les calcaires et les marnes, qui est en principe le niveau alimentaire, et, d'autre part, la hauteur d'eau dans le puits au-dessus de ce niveau, on peut mesurer ainsi la charge hydrostatique en ce point et analyser les conditions de circulation souterraine des eaux.

géologique, soit un plan horizontal ou même un plan quelconque : c'est une surface gauche, rendue compliquée par les mouvements tectoniques qu'elle a subis et dont la forme exacte, si importante à connaître pour prévoir la profondeur des puits, ne peut être déterminée que point par point, expérimentalement. Vers l'Ouest, comme je l'ai déjà fait remarquer, les marnes de la base paraissent s'atrophier progressivement jusqu'à disparaître, et ce sont les calcaires supérieurs qui reposent directement sur le calcaire à Réquiénies, ou le Barrémien. Le niveau d'eau correspondant peut donc également disparaître.

Le document que je donne ici (Pl. VIII, *fig.* 1) ne constitue qu'une première approximation très imparfaite, telle que j'ai pu l'établir avec les moyens et dans le temps dont je disposais. Notamment en ce qui concerne les sources que je n'ai pas vues moi-même et dont j'ai seulement relevé les cotes sur la carte russe au 1 : 126.000 (très précieuse à cet égard par le soin avec lequel toutes les sources et les fontaines y sont mentionnées), il doit y avoir de nombreuses erreurs. Certaines sources peuvent correspondre à d'autres niveaux d'eau secondaires dans le Sarmatique ; quelques-unes peuvent être motivées localement par un drainage hydrostatique au voisinage d'une vallée remplie de lœss argileux dans les conditions que j'ai déjà indiquées pour Kourtbounar. Il y aura donc lieu de reprendre ce travail et de le préciser ; ce qui, le principe une fois bien établi, sera facile, et l'on disposera ainsi d'un instrument précieux permettant de connaître d'avance, en un point quelconque, par la comparaison de la cote superficielle relevée sur une carte topographique et de la cote hydrostatique indiquée sur notre carte, la profondeur à peu près exacte à laquelle un puits foré devra rencontrer de l'eau, par conséquent la dépense qu'il entraînera et le point où les conditions de forage seront les plus favorables.

Je reviendrai tout à l'heure sur la discussion de ce problème et sur les observations intéressantes que suggère l'examen détaillé de cette surface hydrostatique. Mais, auparavant, il faut répondre à une question qui se pose : celle de savoir si, dans tout ce plateau sarmatique de la Dobroudja, il n'y aurait pas intérêt à creuser plus profondément pour obtenir une nappe d'eau artésienne. La réponse me paraît être négative. Il faudrait, en effet, traverser d'abord les 100 à 120 mètres de marnes qui constituent au minimum le Sarmatique inférieur, puis une partie au moins des couches à *Spaniodon*, pour trouver, soit dans les strates sableuses de cet étage à *Spaniodon*, soit dans les calcaires fissurés de l'Éocène situés au-dessous, de l'eau qui aurait pu être accumulée sous pression au-dessous des marnes. Cette eau proviendrait alors des affleurements de ces deux terrains qui existent à l'Ouest de Varna : affleurements dont les infiltrations sont, en grande partie, absorbées par la grande vallée de drainage où se trouvent les Limans de Devna. Au-dessous de cet étage, le niveau d'eau artésien, dont je parlerai bientôt à propos des sources de Devna, serait de plusieurs centaines de mètres plus profond. Le forage d'un puits artésien serait donc une entreprise coûteuse et très aléatoire, qui n'a pas de raison d'être alors qu'il s'agit seulement d'alimenter des villages ou des fermes isolés, pour lesquels on peut avoir toute l'eau nécessaire très simplement au moyen de puits à moteur animé ou mécanique dépassant rarement 40 à 60 mètres.

Si nous revenons maintenant à l'étude de la nappe hydrostatique générale située à la base du calcaire sarmatique, l'examen de la petite carte ci-jointe (Pl. VIII, *fig*. 1) montre d'abord que cette nappe a une pente générale vers le Nord-Est et présente, dans le détail, des ondulations, dont la principale forme un anticlinal de Kouceler vers Baltchik et Kavarna. Le mouvement souterrain des eaux

se conforme naturellement à cette disposition. Ces eaux, qui s'infiltrent dans toute l'étendue du plateau, ne restent pas immobiles à sa base, mais coulent vers le Sud-Est (*fig*. 9) en se concentrant de préférence, comme elles le feraient à la surface, le long des thalwegs produits par les synclinaux. En raison de cette pente, une coupure comme celle de la vallée de Dobritcha, ou comme celle des vallées à l'Ouest de Baltchik, draine toute la zone située à l'Ouest.

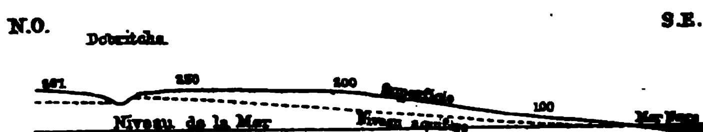


FIG. 9. — Coupe Est-Ouest de Dobritcha à la mer Noire, montrant les relations de la superficie avec le niveau aquifère.
Hauteurs au 1 : 45.000. — Longueurs au 1 : 850.000.

Les falaises de la côte de la mer Noire jouent un rôle analogue. Il est facile de constater directement, comme un raisonnement bien simple le faisait prévoir, que, lorsqu'une coupure semblable interrompt la nappe d'eau, le côté amont, qui est le côté Ouest, donne lieu à des sources, tandis que le côté Est, qui est le côté aval, est tout à fait asséché et stérile. L'observation est particulièrement facile dans le ravin de Mihalvé à l'Ouest de Kavarna, où les escarpements de l'Ouest donnent lieu à une série de sources, qui, avec la régularité de cascades artificielles, sortent toutes exactement au même niveau entre les deux mêmes bancs, l'un calcaire et perméable, l'autre marneux et imperméable, pour tomber au-dessous en cascatelles. Il est impossible de mieux toucher du doigt l'existence de cette nappe hydrostatique, qui, d'ailleurs, s'accuse par la disposition des sources à Baltchik, à Kavarna et sur toute la côte. De l'autre côté Est du ravin de Mihalvé, le même contact, ayant été asséché précédemment, ne donne lieu à aucune

source. En même temps, on peut constater là un fait important, qui est à retenir dans toutes les questions hydrologiques, c'est que l'eau souterraine des terrains calcaires ne forme pas, malgré la régularité de niveau sur laquelle je viens d'insister, une nappe continue, comme on le croyait autrefois, mais un réseau, un filet de ruisseaux, de rivières souterraines coulant toutes sûr la même surface souterraine, ainsi que les explorations de M. Martel dans la profondeur de tant de plateaux calcaires l'ont établi avec évidence. A côté d'un point très riche en sources, celles-ci font, sur le même plan hydrostatique, tout à fait défaut.

La conséquence est double. D'abord, en ce qui concerne la recherche des eaux, il en résulte qu'il faut tomber sur une fissure aquifère pour avoir de l'eau dans un puits, et la multiplicité des fissures dans ces calcaires donne seule la quasi-assurance d'en rencontrer au moins une dans la largeur d'un puits (*). Le remède à une stérilité, quí pourrait cependant se rencontrer, consisterait, une fois arrivé au niveau des marnes, à faire, à la base du puits, quelques galeries de drainage partant de ce puits pour aller rechercher des fissures.

Une autre conclusion à en tirer, c'est que l'eau, circulant en profondeur, non dans des masses poreuses, mais dans des fissures ouvertes, ne s'y purifie pas, et que l'on peut voir une belle source d'apparence très limpide, ou même l'eau d'un puits profond, contaminée par les souillures de la surface. Le danger, qui existe ailleurs, pour d'autres pays, même dans les terrains crayeux où les fissures sont très fines, ainsi que la ville de Paris en a fait depuis quelques années l'expérience fâcheuse, est encore

(*) Le sondage stérile, que les Roumains ont poussé jusqu'à 120 mètres à Karamer près Tchéfoulkiou, sur la frontière, a pu rencontrer des conditions semblables.

plus grand dans les fissures larges de calcaires durs, comme ceux du Sarmatique. En Dobroudja, il se trouve heureusement très atténué par le manteau superficiel de lœss, qui forme, lui, un filtre purifiant; en outre, plus la profondeur de la nappe est grande, plus les chances d'épuration souterraine sont nombreuses ; cependant, quand ce manteau fait défaut, comme cela arrive, il y a lieu de se rappeler cette observation pour éviter la propagation hydrique, au premier abord inexplicable, de maladies contagieuses, telles que la fièvre typhoïde, entre un village et telle ferme isolée, puisant son eau à 20 ou 30 mètres de profondeur dans l'aval-pendage de la même nappe.

D'après ce que nous venons de voir, l'eau que l'on recueille dans les puits est empruntée à la nappe profonde, qui, sans cela, trouverait son écoulement naturel vers les vallées ou vers la mer. Elle n'est donc pas en quantité illimitée; mais les précipitations sur ce vaste plateau, qui, tout en étant inférieures à celles du reste de la Bulgarie, atteignent encore 40 à 50 centimètres d'eau par an (*), sont largement suffisantes, et, en fait, tous les puits forés donnent une quantité d'eau abondante en relation assez directe avec leur diamètre.

Voici, par exemple, quelques observations relevées dans divers puits, et, tout d'abord, un tableau donnant les profondeurs de puits qui m'ont permis de tracer la carte ci-jointe dans l'ordre de mes itinéraires.

(*) Voir, à ce sujet, une carte du Dr Kasser donnant la distribution annuelle des pluies en Bulgarie (*Petermanns Mittheilungen*, 1904).

TABLEAU DES PUITS PROFONDS DANS LE CALCAIRE SARMATIQUE.

	Cote superficielle	Profondeur de l'eau dans les puits mètres	Niveau absolu de l'eau
Sarigöl	325m	35m	290
Baladja	285	40	245
Vélifak	266	40	226
Kouceler	277	35	242
Iastiktchalar	260	47	213
Hamsalar	266	57	209
Douvan Ouvasa	245	57	188
Baltchik	156	source	156
Tourski Souyoutschouk	164	9	155
Mihalvé	140	source	140
Kavarna	100	source	100
Giaour Souyoutschouk	89	5	84
Kajavenkiou	40	40	0
Chabla	22	16	6
Ialioutreh Orman	70	56	14
Kœuw Louk	105	25	80
Gargalik	120	25	95
Iaplidja	148	76	72
Ortakiou	135	40	95
Sjoulenmanlik	95	10	85
Tchefoulkiou	140	60	80
Karadom	150	20	130
Mamouskiou	175	30	145

On voit que tous ces puits, quoique tirant presque certainement tous l'eau du même niveau géologique, ont des profondeurs très variables et aboutissent à des niveaux absolus très différents, que l'on ne comprendrait pas si l'on ne se reportait à la carte ci-jointe, où apparaît bien la loi générale du phénomène. La profondeur maxima de 80 mètres, atteinte dans quelques cas exceptionnels, est une gêne incontestable, mais ne constitue nullement une impossibilité et, en fait, la conclusion de notre enquête a été que l'eau ne manque pas dans cette région.

Si nous étudions plus en détail les conditions de ces

puits, nous pouvons prendre comme types les installations profondes de deux grandes fermes : Iastiktchalar (ferme Outchourmanski) et Iaplidja.

A Iastiktchalar, on est dans des conditions défavorables, presque au bord du plateau, par conséquent au voisinage d'une dépression qui détermine un drainage naturel et sur laquelle se trouvent, en effet, des sources correspondant à de petits niveaux supérieurs dans les calcaires. Cette circonstance ne peut manquer de provoquer une diminution dans le débit des puits.

Il y a trois puits. L'un d'eux, creusé jusqu'à 53 mètres, renferme une hauteur d'eau qui, lorsqu'on la laisse prendre son équilibre, atteint une épaisseur de 6 mètres. Un puits voisin n'a que 3 mètres d'eau. On peut pomper dans chaque puits, à raison de 530 à 540 litres à l'heure, pendant quinze à seize heures, mais ensuite le puits est à sec pour huit heures : c'est-à-dire que le débit d'un puits de 2 mètres de diamètre est d'un peu plus de 8 mètres cubes par jour. Les trois puits, distants d'une trentaine de mètres, fonctionnent simultanément sans se nuire pendant l'été, à raison de 25 mètres cubes par jour.

A la ferme Iaplidja, il y a quatre puits de 70 à 80 mètres, à environ 100 mètres de distance. Là aussi, les 15 heures de travail journalier épuisent le puits, dont le débit est également d'environ 8 mètres cubes. La charge est analogue et l'épaisseur de l'eau au repos d'environ 6 mètres. Les quatre puits, fonctionnant simultanément, ne semblent pas se nuire, mais aucune observation précise n'a été faite à cet égard.

Au premier abord on peut, en effet, se demander quelle est la relation réciproque de plusieurs puits voisins, comme il en existe dans les villages, où l'on en a souvent une quinzaine côte à côte, ou même dans certaines grosses fermes, comme celles que je viens de citer. Ces puits prennent l'eau de la même nappe ; c'est comme si elles la

prenaient à la même rivière : on conçoit donc qu'il puisse y avoir influence réciproque. En réalité, cette influence doit être souvent presque inappréciable, ainsi qu'on le constate, en bien des cas, par expérience, pour les divers griffons d'une même source thermale située dans un terrain calcaire fissuré. Ce fait que ces griffons ou ces puits sont alimentés par des fissures distinctes, bien que très voisines, du calcaire, les rend parfois presque indépendants les uns des autres ; l'équilibre théorique par vases communicants met assez de temps à se réaliser pratiquement pour que les conséquences s'en fassent à peine sentir. De même, il arrive, paraît-il, d'épuiser un puits, sans que son voisin, à 10 mètres de là, baisse le moins du monde. Ce qui prouve encore directement ce régime hydraulique de circulation par fissures ramifiées, par bras de rivière, et non par nappe continue, sur lequel j'ai plus haut insisté.

B. — Hydrologie du Deli-Orman entre Dobritcha, Silistria, Routschouk et Rasgrade.

Suivant une remarque précédente, la région naturelle, que nous examinons maintenant, est caractérisée par un soubassement de terrains crétacés recouverts par des argiles du lœss, qui, lorsqu'on approche du Danube, prennent de grandes épaisseurs et se montrent parfois, dans les coupes naturelles, sur 30 à 40 mètres d'épaisseur. Lorsque le soubassement crétacé est formé, comme c'est le cas dans le Sud, par les marnes de l'Hauterivien ou les calcaires à intercalations marneuses du Barrémien, ni les sources ni les rivières ne font défaut, et la question de l'alimentation de l'eau ne se pose pas. Au contraire, dans toute la zone Nord, où le sous-sol est formé par les calcaires à Réquiénies, ces calcaires, absolument perforés

comme une éponge et épais d'au moins 150 à 200 mètres, jouent, sur toutes les infiltrations pluvieuses et les ruisseaux, un rôle absorbant. Il n'existe alors aucune espèce de source, et l'on voit les ruisseaux provenant de la région Sud disparaître peu à peu, se perdre dans la profondeur, en sorte que leur figuré sur les cartes se termine au bout, sans aboutir à aucun fleuve. Les vallées de cette région, creusées par une érosion qui remonte à une époque géologique antérieure, sont aujourd'hui des vallées sèches, comme celles que l'on trouve, en bien des pays, dans des calcaires crétacés du même genre, et, sans sortir de France, dans toute la Normandie. Le problème de l'alimentation d'eau se pose alors avec une acuité qui a beaucoup nui jusqu'ici au développement économique d'une région d'ailleurs fertile, pittoresque et séduisante à tous égards.

J'ai déjà dit comment, dans une certaine mesure, les imprégnations aquifères du lœss permettaient, là où ce lœss est suffisamment épais, de remédier à cette disette d'eau (si ce n'est pendant les mois les plus secs de l'été); je ne reviendrai donc pas sur ces puits du lœss et me contenterai d'examiner comment la question se pose dans les régions où l'on a directement affaire au soubassement aride du calcaire à Réquiénies. Tel est le cas dans la plus grande partie de la région où figure, sur notre carte, le calcaire à Réquiénies, entre le Danube et la ligne de collines qui domine immédiatement Rasgrade.

Dans toute cette région, il faut se représenter qu'il n'existe aucun niveau d'eau sur toute l'épaisseur du calcaire à Réquiénies, qui, ainsi que le montrent nos coupes (Pl. VII), est coupée en biseau par la superficie et part de 0 au Sud pour atteindre peut-être 400 mètres au Nord (dont tout au moins 120 sont directement visibles dans les coupes naturelles des vallées). Quelles sont alors les ressources en eaux souterraines? La première, qui joue un

rôle dans la région Sud, est fournie par les niveaux d'eau plus ou moins importants que présentent, au-dessous du calcaire à Réquiénies, les intercalations marneuses du calcaire barrémien. Ces niveaux sont atteints par quelques puits voisins de la ligne séparative des deux terrains figurée sur notre carte.

On peut également rattacher au même ordre d'idées les ruisseaux alimentés par les sources du Barrémien : ruisseaux, qui pénètrent plus ou moins loin dans la zone calcaire à Réquiénies, sans s'y perdre immédiatement grâce au manteau de loess dont les thalwegs sont tapissés. Il y a ainsi trois rivières principales : l'une venant de Kiokledja pour passer entre Mahmousli et Tcharvi et aller se perdre à la hauteur de Kourtbounar, la seconde qui passe à l'Est de Kemanlar et la troisième à l'Ouest de la même vallée. Toutes trois coulent encore au jour à 3 ou 4 kilomètres au Nord de la limite du Barrémien, et il a pu être question d'en remonter l'eau par des machines pour remédier à la disette des villages situés sur le plateau.

Mais la grande ressource en eau de cette région, celle sur laquelle on peut compter d'une façon presque illimitée, consiste dans la nappe hydrostatique souterraine, réglée par le drainage du Danube. C'est celle qu'ont atteinte, jusqu'ici, un certain nombre de puits dont il va être question.

Il est facile, en effet, de comprendre comment, dans une masse calcaire aussi absolument perméable aux eaux, la grande ligne de drainage du Danube doit régler, même à de fortes distances, le niveau des eaux souterraines. Si l'on pousse les choses à l'extrême et si l'on suppose la masse entièrement homogène et entièrement poreuse, toutes les eaux situées au-dessus d'une certaine surface courbe qui se raccorde en pente douce avec le Danube doivent s'écouler vers le fleuve ; celles qui sont au-dessous n'ont, au contraire, pas d'écoulement et constituent une

ainsi que j'ai été amené, sur la carte ci-jointe (Pl. VIII, *fig.* 2), à supposer que la plupart des eaux allaient converger vers un même point du Danube, sauf pour deux puits dont le niveau serait un peu trop bas s'il en était ainsi et qui, d'ailleurs, occupent une situation excentrique par rapport au groupe des autres.

Parmi ces seize sources, une seule constitue une véritable exception, et j'ai dû la laisser de côté, c'est celle de Messime Mahle, dans laquelle, d'après les mesures faites, l'eau resterait à près de 7 mètres au-dessous du Danube. Il est probable qu'il doit y avoir là une erreur d'observation quelconque, ou une circonstance tout à fait accidentelle qu'il serait intéressant d'étudier.

Les débits respectifs de tous ces puits sont très analogues les uns aux autres, en moyenne 2.800 litres par heure et par puits : ce qui correspond bien avec l'idée qu'ils tirent tous leur eau de la même nappe.

En ce qui concerne cette région du Deli-Orman, on pouvait encore se demander s'il n'y aurait pas lieu de pousser les sondages un peu plus pour atteindre une nappe artésienne. C'est la même question que nous nous sommes déjà posée pour la zone du Sarmatique, et ma réponse ici encore sera négative. Si l'on se reporte à la coupe géologique des terrains, on voit, en effet, qu'il peut exister deux nappes artésiennes dans cette région : l'une au-dessous des bancs marneux qui occupent la partie supérieure du Barrémien, l'autre au-dessous des marnes hauteriviennes à *Belemnites dilatatus*. Le second niveau a l'avantage de ne pas être hypothétique, car la résurgence si curieuse des sources de Devna lui est presque certainement attribuable, et il est donc intéressant d'étudier ici, à ce propos, ces sources très remarquables par elles-mêmes (Pl. VI, *fig.* 2).

Les sources de Devna apparaissent dans des conditions qui, pour des sources de ce genre capables d'alimenter des

moulins dès leur émergence, sont fort exceptionnelles. Elles viennent sourdre, non pas dans des calcaires comme la plupart des autres grandes sources semblables, mais au milieu de marnes, dans une large vallée de plus de 6 kilomètres de large, qui n'est immédiatement dominée que par des collines de 200 mètres à pente douce. Leur débit total était cependant, au moment où on l'a mesuré, de $5^{m3},86$ par seconde (plus de 500.000 mètres cubes par jour), c'est-à-dire comparable à celui des plus fortes sources vauclusiennes alimentées par les rivières souterraines dues aux infiltrations de tout un plateau calcaire. Comme points de comparaison, la célèbre fontaine de Vaucluse varie de 7 à 70 mètres cubes par seconde; la très abondante source de Fontaine-l'Évêque dans le Var, de 3 à 15 mètres cubes; le débit de la Seine à Paris est à l'étiage de 75 mètres cubes. Il est, d'ailleurs, facile d'évaluer approximativement quelle peut être la superficie de leur bassin d'alimentation, puisque nous connaissons la moyenne des précipitations pluvieuses dans cette région, qui est de $0^m,50$ par an. En admettant qu'il pénètre dans la terre un tiers à un quart des pluies, soit $0^m,15$ par an, pour produire ce débit de 500.000 mètres cubes par jour, nous trouvons une superficie d'environ 1.200 kilomètres carrés : soit, par exemple, 30 kilomètres de long sur 40 kilomètres de large. Il n'est guère douteux que de semblables sources soient alimentées par des strates de calcaire sous-jacent, formant dôme en cet endroit sous un couvercle peu épais de marnes hauteriviennes, et que les eaux souterraines de ces calcaires, retenues ailleurs sous pression dans la profondeur par ce toit de marnes imperméables, viennent ici apparaître au jour en le crevant sur un point où son épaisseur est particulièrement réduite. Reste à savoir où se trouve cette zone d'infiltration calcaire. Dans l'état actuel de nos connaissances sur la région, on peut estimer à 8 kilomètres carrés au plus, c'est-à-dire à un chiffre absolument insuf-

fisant, la superficie des petits affleurements de calcaire valanginien alignés entre Provadia et Schaitandjik. Si ces eaux souterraines de Devna ne viennent pas à grande distance de la région balkanique du Sud, il faudrait donc admettre que tout le plateau calcaire situé vers le Nord, entre Devna et Kourtbounar, dont les terrains ont été attribués, sur la carte, au Barrémien, mais dont l'étude véritable n'a pas été faite, serait composé de Valanginien. Les deux terrains, Barrémien et Valanginien, ayant des facies très analogues, cette hypothèse n'a rien d'invraisemblable par elle-même. Je dois me contenter, pour le moment, de la poser sans la résoudre.

Quoi qu'il en soit, la circulation souterraine de ces calcaires étant déjà drainée par des sources aussi fortes, on risquerait de ne pas y rencontrer toute l'eau disponible dont on aurait besoin, et surtout il faudrait, pour atteindre ce niveau d'eau dans le plateau d'Akkadanlar ou de Kourtbounar, descendre à une profondeur beaucoup trop forte, au moins 300 mètres sans doute; il n'y a donc pas, je crois, à y songer.

Quant au niveau d'eau barrémien, la constitution de l'étage où on devrait le chercher rend son existence même assez problématique ; en outre, la profondeur à laquelle il se trouve, profondeur qui va en croissant à mesure qu'on se rapproche du Danube, est bientôt de 4 à 500 mètres. Pouvant trouver de l'eau en abondance à moins de 150 mètres, on n'a aucune raison d'entreprendre un tel forage aléatoire et coûteux.

LES EXPÉRIENCES DE GELSENKIRCHEN-BISMARCK

SUR

LES MOTEURS ET L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUES DE SURETÉ POUR LES MILIEUX GRISOUTEUX

Par M. F. LEPRINCE-RINGUET, Ingénieur au Corps des Mines.

PRÉLIMINAIRES.

Les moteurs et les appareils électriques sont susceptibles d'enflammer le grisou de diverses manières : soit par les étincelles qui s'y produisent dans les conditions normales de fonctionnement, soit par les étincelles, les flammes ou l'incandescence qui peuvent être la conséquence d'une surcharge, d'un grippement, d'un échauffement, d'un contact accidentel.

Diverses études ont déjà été poursuivies, en vue d'étudier les effets de l'étincelle électrique dans un milieu grisouteux : en dehors des travaux classiques des diverses commissions du grisou, qui ont eu plutôt en vue les conditions générales d'inflammation de ce gaz, il convient de noter les expériences faites en 1897 à la galerie d'essais de Gelsenkirchen-Bismarck par le professeur Heise, et, dans ces tout derniers temps, celles de MM. Couriot et Meunier sur les filaments incandescents et les étincelles.

Le plus récent des règlements concernant l'emploi de l'électricité dans les mines, le règlement anglais, prévoit bien que les appareils employés dans les mines à grisou

seront enveloppés de manière à ce qu'il n'y ait pas danger d'enflammer le gaz, mais il ne dit pas comment on peut y arriver (*).

Ce qui ressort de plus net de toutes les expériences faites jusqu'ici, c'est l'innocuité à peu près complète des fils incandescents, et, par contre, le danger à peu près général de l'étincelle électrique, sauf pour de très faibles intensités ou de très faibles self-inductions. Si, dans certaines circonstances très spéciales, on peut réaliser suivant cet ordre d'idées des dispositifs électriques de sécurité, il semble que, dans la plupart des cas, l'on reste exposé à des surprises, et qu'il faille compter avec la possibilité d'étincelles dangereuses, surtout dans les mines, à cause de la facilité moins grande de la surveillance et des causes spéciales de dégradation ou d'encrassement des appareils.

Aussi, malgré ses avantages manifestes, l'électricité a-t-elle été jusqu'ici complètement bannie des travaux grisouteux.

Cependant, dans ces dernières années, M. l'assesseur des Mines Baum, délégué de l'Association pour les intérêts miniers du district de Dortmund (Westphalie), pensa que l'on devait pouvoir réaliser des moteurs et des appareils munis de dispositifs protecteurs empêchant une étincelle de provoquer une explosion du milieu extérieur; la Caisse des Charbonnages Westphaliens, qui disposait de la galerie d'essais de Gelsenkirchen-Bismarck, résolut de procéder dans ce sens à des expériences, qui furent entreprises avec la coopération des principales compagnies d'électricité allemandes et sous la direction de M. l'assesseur des mines Beyling, en 1903.

Les expériences poursuivies de 1903 à 1905, avec une

(*) *Travaux de la Commission anglaise de l'électricité* (Leproux, *Annales des mines*, 1904).

vraie ténacité et une remarquable méthode, malgré les très nombreux déboires auxquels elles donnèrent lieu, ont enfin abouti à fixer des règles générales pour la protection des moteurs et de l'appareillage : il n'y manque plus que la sanction de la pratique, c'est-à-dire la réalisation par les constructeurs d'appareils courants satisfaisant à ces règles, qui n'ont encore été vérifiées que sur quelques unités spécialement construites en vue des essais. Les maisons allemandes entrent dès maintenant dans cette voie pour le compte de diverses houillères westphaliennes. C'est autant pour permettre à nos industriels de tirer aussi parti de ces expériences que pour faire connaître en France les beaux résultats auxquels elles ont conduit, et qui sont de nature à influer sur la réglementation encore imprécise de ces matières, que nous avons cru utile de résumer ici le compte rendu très détaillé que vient d'en donner M. Beyling (*).

Description de la galerie d'essais. — La station d'essais de Gelsenkirchen-Bismarck, où les expériences ont été faites, est une fondation de la Caisse des Charbonnages westphaliens. Située sur le siège III/IV de la mine Consolidation, elle comprend essentiellement un captage de grisou naturel et une galerie d'essais.

Ce grisou a une teneur un peu variable en méthane; une analyse faite en 1905 a donné 69,7 0/0 de méthane, 1,6 0/0 d'acide carbonique, 18,8 0/0 d'azote et le reste d'air. On le purifie de la majeure partie de son acide carbonique avant d'en faire usage.

(*) *Versuche zwecks Erprobung der Schlagwettersicherheit besonders geschützer elektrischer Motoren und Apparate, sowie zur Ermittlung geeigneter Schutzvorrichtungen für solche Betriebsmittel. Ausgeführt auf der berggewerkschaftlichen Versuchstrecke in Gelsenkirchen-Bismark*, von Bergassessor Beyling (*Glückauf*, 1906, nos 1-13, et tirage à part, Essen-Ruhr, 1906). — Nous remercions l'auteur et l'éditeur, qui ont bien voulu nous prêter les clichés de cette publication pour le présent travail.

La galerie d'essais est une galerie à section elliptiqu de 34^{m} de longueur. Elle avait été créée spécialeme pour les essais sur le degré de sécurité des explosifs présence du grisou et des poussières inflammables. (l'a fait servir aussi au début pour les essais de moteu électriques. Mais elle a été remplacée pour cet objet p une galerie beaucoup plus courte et plus commodéme aménagée.



Fig. 1.

Cette nouvelle galerie (fig. 1 et 2) a été construite en 1904 ; e repose directement sur le sol. Sa forme est celle d'un arc cintre surélevé, mesurant 1^{m},40 d'ouverture à la base et 1^{m},80 hauteur ; la longueur est de 4^{m}, le volume intérieur de 9
Elle est constituée par une triple épaisseur de planches pitchpin goudronné à joints alternants, consolidées par cadres extérieurs en I reliés par des fers en U. Les deux ext mités sont libres. Sur le côté sont ménagées trois fenêtres d'

servation de 120 × 230mm, munies de glaces de 25mm serrées entre de l'amiante à l'intérieur et du caoutchouc au dehors.

La conduite de grisou court près du sol, elle est percée de nombreuses petites ouvertures.



Fig. 2.

Un agitateur à palettes, placé près du toit de la galerie et manœuvré du dehors, assure un brassage suffisant du mélange.

Un calorifère à vapeur permet de faire varier la température intérieure.

Un auvent protège d'un côté l'accès de la galerie, qui se trouve à proximité d'une chambre de machines.

On peut essayer dans la galerie, soit l'appareillage, soit les moteurs. Dans le premier cas, on se contente d'en fermer chaque extrémité par une feuille de papier fort, serrée à l'aide de clavettes entre deux cadres en fer.

Dans le second, il faut pouvoir faire travailler le moteur en charge, c'est-à-dire laisser sortir son arbre. On dispose alors sur la partie inférieure de l'orifice de la galerie une cloison de planches à travers laquelle l'arbre passe dans une boîte à bourrage, et l'on complète la fermeture par du papier.

On dispose pour les essais d'une force de 50 HP sous courant continu à 500 volts ; une commutation et des transformateurs permettent de faire du courant triphasé de 120 à 2.000 volts.

L'essai des moteurs en charge se fait en les accouplant à l'aide de poulies convenablement disposées avec une dynamo-frein dont le courant est absorbé par une résistance à eau. L'effet d'une surcharge brusque est réalisé par le moyen d'un frein à poids.

L'isolement des câbles conducteurs se détériorant très rapidement au cours des essais, on doit soigner l'étanchéité de leur insertion dans la chambre et renouveler fréquemment les raccords.

L'installation est complétée par un tableau de distribution portant les appareils de mesure.

Historique des expériences. — On commença les essais en 1903 en expérimentant un certain nombre d'appareils munis d'enveloppes protectrices variées, les unes étanches, les autres à tamis métallique. Ces expériences donnèrent de sérieuses déconvenues. Il faut avouer que les constructeurs s'étaient lancés avec une singulière légèreté et que le moindre petit calcul sur la pression développée par l'explosion d'un mélange grisouteux ou la connaissance des conditions de sécurité des tamis de lampes de sûreté leur auraient sans doute évité bien des mécomptes. Par contre quelques utiles indications que l'expérience seule pouvait inspirer sont déjà ressorties de ces essais.

Sur 7 moteurs ou collecteurs expérimentés, 4 sous enveloppe close, 2 sous toiles métalliques et 1 dans l'huile, tous ont donné lieu à des explosions de grisou à l'extérieur de l'enveloppe protectrice.

Sur 6 types de transformateurs ou d'interrupteurs, dont 5 à huile et 1 à toile métallique, 2 seulement présentèrent une sécurité convenable.

En présence de ces fâcheux résultats, force fut d'inaugurer une méthode d'essais scientifique, et c'est à quoi a été consacrée une partie de l'année 1904.

Enfin, dès 1904 et en 1905, on a commencé de mettre en application les résultats obtenus, et, sauf une mise au point qui n'est pas encore parfaite, on a pu constater que les bases paraissent bien établies et permettent aux constructeurs de créer des appareils offrant les garanties cherchées.

Pour la clarté de l'exposé, nous nous éloignerons un peu de l'ordre chronologique suivi par M. Beyling en relatant successivement les expériences et les essais pratiques auxquels a donné lieu chacun des dispositifs employés.

Appareil d'expérience. — En mettant à part un mode de protection qui sera examiné plus loin, la protection par immersion dans l'huile, on se propose, dans la grande majorité des cas, soit de mettre les appareils susceptibles d'enflammer le grisou dans une enceinte close capable de résister à une explosion intérieure et d'empêcher sa propagation au milieu environnant, soit de les séparer de ce milieu par un dispositif approprié, comme les tamis d'une lampe de sûreté, permettant une combustion intérieure, mais empêchant la flamme de venir faire exploser le milieu extérieur.

Ce qu'il faut étudier d'abord, ce sont les conditions d'établissement de cette enveloppe pour répondre à l'un ou l'autre de ces objets.

On construisit donc une bombe en fer forgé que représentent les *fig.* 3 et 4. C'est un cylindre de 425^{mm} de longueur et 335^{mm} de diamètre intérieur, en tôle de 20^{mm}, auquel on peut adapter des fonds de formes diverses, hermétiques, munis d'ouvertures, munis de toiles métalliques, etc.; la capacité intérieure est de 42 litres environ.

Des ouvertures sur la partie cylindrique servent à introduire du grisou, à passer les fils d'allumage, à adapter un

manomètre enregistreur, enfin à observer l'intérieur à l'aide de regards munis de glaces fortes.



Fig. 3.

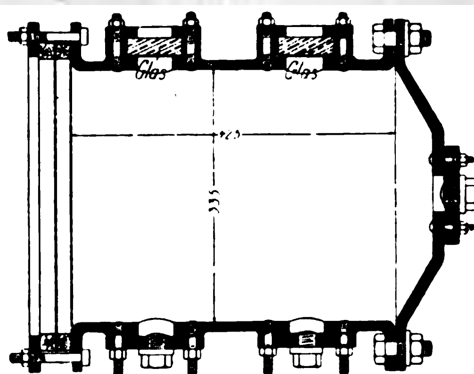


Fig. 4.

Deux autres récipients, l'un de 11 litres de capacité l'autre de 3^{lit},6, ont également servi aux expériences

La difficulté était de remplir la bombe avec un mélange de teneur voulue; la diffusion aurait demandé un temps excessif, pendant lequel le grisou de la galerie se serait répandu au dehors. Après quelques essais variés, c'est l'emploi d'un soufflet à main qui donna les meilleurs résultats; on faisait d'ailleurs une prise d'essai du gaz dans les expériences les plus importantes. Il semble qu'il eût été assez facile de disposer d'abord d'un mélange de grisou et d'air dans les proportions voulues, en se servant pour cet usage de l'appareil d'essai des lampes de sûreté et de le faire circuler ensuite dans la bombe d'une façon assez prolongée pour qu'il la remplit exclusivement. Cela aurait évité des tâtonnements et conduit à des résultats plus scientifiques.

La bombe était placée dans la galerie d'essais, dont le volume intérieur est, comme nous l'avons dit, de près de 9 mètres cubes et que l'on remplissait de grisou au maximum d'inflammabilité (8-9 0/0 de méthane) ou, dans certains cas, à toute autre teneur.

L'inflammation était produite par des amorces électriques dans lesquelles on ajoutait s'il était nécessaire, pour les mélanges trop faibles ou trop forts, quelques grains de poudre de mine.

On pouvait également se servir d'un fil de platine porté à l'incandescence par un accumulateur.

A. — La protection par enveloppe close.

On peut, dans certains cas très spéciaux, placer les appareils dans une enveloppe absolument hermétique, d'où aucun organe mobile ne passe à l'extérieur. On n'aura pas alors à se préoccuper de l'existence à l'intérieur de l'enveloppe d'un mélange explosif. Mais, dans la plupart des applications, encore fort limitées, où l'on peut faire usage

d'enveloppes complètement closes, il faut compter avec les joints des pièces mobiles qui ne sont pas assez étanches pour empêcher toute introduction de gaz. Il y a alors à raisonner comme si l'enveloppe devait contenir un gaz explosif et à connaître la pression maxima à laquelle ce gaz peut atteindre par suite de l'explosion.

Cette pression, qu'il est facile de calculer à l'aide de la chaleur de combustion du méthane, des chaleurs spécifiques des gaz et de leurs coefficients de dilatation, a été déterminée expérimentalement à l'aide d'un indicateur à diagramme actionné à la main et a conduit à la courbe de la *fig*. 5.

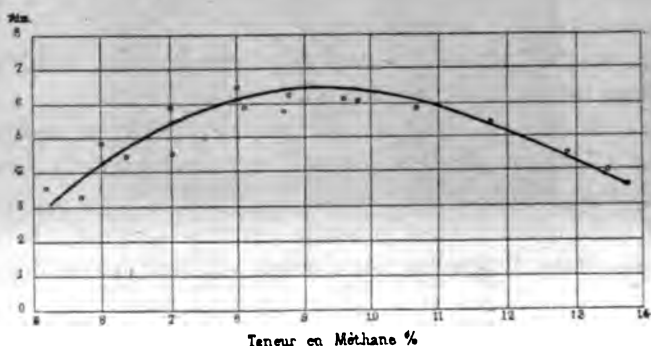


Fig. 5.

La pression maxima devrait être obtenue pour la combustion complète du méthane et de l'oxygène, c'est-à-dire pour la teneur de 9,4 0/0 de méthane. Elle a eu lieu pour 8 0/0, et a atteint $6^{atm},5$. Ce résultat tient à ce que, lorsque la teneur en méthane n'excède pas 8 0/0, l'inflammation se fait plus facilement, laissant aux gaz moins de temps pour se condenser.

C'est ce dont rendent compte les courbes qui font connaître la durée de l'établissement de la pression maxima selon la teneur ; de 3/4 de seconde pour le mélange à

5,2 0/0, elle tombe à 1/5ᵉ pour celui à 8 0/0, et remonte à une seconde pour celui à 13,8 0/0 (*fig.* 6).

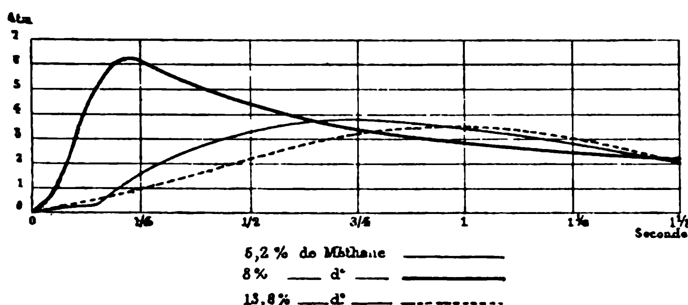


Fig. 6.

L'*influence refroidissante* des parois n'a pas joué un rôle appréciable ; on s'en est assuré en les revêtant d'amiante.

La *dimension de l'enceinte* n'a pas paru non plus avoir d'influence, le réservoir de 3ˡⁱᵗ,6, qui possède une surface refroidissante relative deux fois plus grande que la bombe, a permis de le constater d'une manière approchée. Par contre, le maximum de la pression y a été atteint plus rapidement, en 1/8ᵉ de seconde seulement.

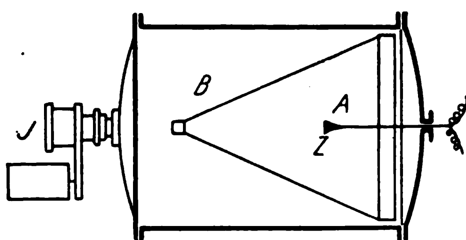


Fig. 7.

Si la *pression initiale* est plus élevée, comme cela peut être le cas dans une mine en raison de la profondeur des travaux, la pression finale sera naturellement plus élevée

en proportion; mais dans aucun cas, aux profondeurs maxima de 1.000 à 1.200 mètres, elle ne doit dépasser 7 1/2 à 8 atmosphères.

On s'est demandé si la *présence de certains objets* dans la bombe pouvait élever la pression davantage: en disposant un entonnoir à l'intérieur de l'enregistreur de pression vis-à-vis de la petite ouverture de cet entonnoir, comme le représente la *fig.* 7, on a encore trouvé u maximum de $6^{atm},5$; mais la durée s'est trouvée encor réduite à $1/12^{e}$ de seconde.

Essais d'enveloppes complètement hermétiques. — Pe d'appareils ont été essayés dans lesquels la sécurité contr



Fig. 8.

le grisou résultât d'une herméticité absolue. Des moteurs mêmes, d'abord, il ne peut pas y en avoir, en raison du jeu qui résulte, au moins à la longue, de la rotation des pièces. Mais certains dispositifs de sécurité peuvent être parfaitement fermés. Nous citerons dans cet ordre d'idées

un **moteur triphasé de 10 HP marchant à 500 volts et tournant à 420 tours à la minute, à couplage automatique** (*fig.* 8).

L'induit de ce moteur comportait deux enroulements : pendan la période de démarrage, l'enroulement secondaire était intercalé dans le circuit de l'enroulement principal pour produire la résistance voulue ; puis, quand la vitesse avait atteint une valeur suffisante, un interrupteur centrifuge isolait les deux enroulements. Tout ce dispositif était entouré d'une enveloppe hermétique et placé en bout d'arbre. La boîte était en fonte, mesurant 200^{mm} de diamètre, 100^{mm} de profondeur et 6 à 7^{mm} d'épaisseur, et avait une capacité libre de $1^{lit},5$.

Ce moteur s'est toujours bien comporté, parce que les étincelles du dispositif automatique n'ont jamais pu allumer le grisou. Sans cela il n'est pas douteux que la boîte n'eût pas été suffisament résistante contre une explosion intérieure.

Parmi les appareils, il faut mettre à part les **fusibles en cartouches,** qui sont renfermés dans des tubes de porcelaine. Ces tubes étant étanches, les fusibles ne sauraient être une source de danger que si les vapeurs métalliques produites pendant leur fusion pouvaient faire sauter l'enveloppe de porcelaine. Mais cela n'est jamais arrivé au cours des expériences.

Les observations les plus intéressantes faites sur les fermetures étanches sont relatives à l'**efficacité des joints.**

Mentionnons le cas d'un **démarreur triphasé** placé dans une boîte carrée en fonte avec couvercle.

Une bande de caoutchouc plat était disposée entre la boîte et son couvercle, maintenu serré par des boulons aux quatre angles. L'explosion intérieure ne se transmit pas au dehors, mais elle chassa le caoutchouc qui prit l'aspect indiqué sur la *fig.* 9.

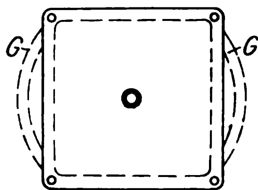


Fig. 9.

Il faut donc, si l'on met des garnitures en caoutchouc, s'arranger pour qu'elles ne puissent pas être chassées

par la pression intérieure. Le joint d'une boite à fusibles, disposé comme l'indique la *fig*. 10, satisfait à cette condition ; il en est de même du joint à rainure d'un couvercle à charnière représenté par la *fig*. 11.



Fig. 10.



Fig. 11.

Mais toutes ces garnitures en caoutchouc ont l'inconvénient d'être détériorées par la chaleur des explosions et aussi de se conserver plus ou moins bien avec le temps, surtout dans l'atmosphère des travaux de mines. On a trouvé, comme on le verra plus loin, le moyen de s'en passer complètement, en mettant simplement les pièces métalliques directement en contact.

Influence des cloisonnements. — Nous avons vu qu'un corps placé dans la bombe et même disposé de manière à diriger l'explosion vers l'indicateur des pressions avait pu avoir pour effet une augmentation dans la vitesse de combustion du gaz, mais n'avait pas conduit à une élévation appréciable de la pression maxima.

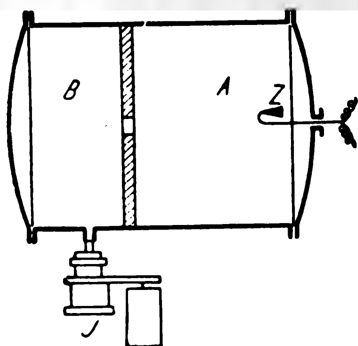


Fig. 12.

Tout autre s'est montrée l'influence d'une cloison incomplète placée en travers de la bombe qu'elle divisait en deux parties (*fig*. 12). La bombe était remplie d'un mélange à 9 0/0 de méthane.

L'explosion était provoquée du côté A, la pression mesurée dans la partie B a suivi une marche oscillatoire, et son maximum a été de $9^{atm},5$ (*fig.* 13). La cloison en bois fut mise en pièces.

Ceci s'explique aisément.

Lorsqu'on fait exploser en un point un mélange grisouteux, l'onde comprimée se propage avec une vitesse considérablement plus grande que la flamme. L'enceinte B va ainsi se trouver, à un moment donné, pleine de gaz non brûlés à une pression supérieure à la pression atmosphérique. C'est ce que fait voir la courbe (*fig.* 13), dans laquelle la pression monte d'abord régulièrement jusqu'aux environs de 2 atmosphères. A ce moment, la flamme est arrivée à l'entrée de l'enceinte B, et la combustion se produit avec une vitesse d'autant plus grande que la pression initiale est plus élevée. Le petit orifice ne permettant pas au gaz de refluer facilement du côté A, la pression finale que l'on observe est presque proportionnelle à la pression initiale au moment de la propagation de l'inflammation.

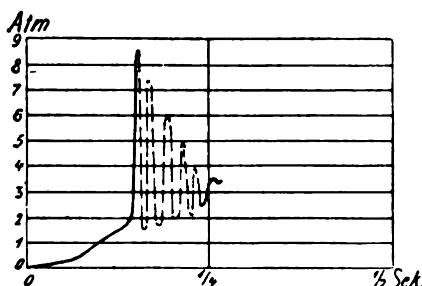


Fig. 13.

Ainsi, dans le cas qui nous occupe, la pression initiale étant de près de 2^{atm}, la pression maxima aurait été de près de 13^{atm}, n'étaient les fuites de gaz par l'ouverture de la cloison.

A partir du moment où la combustion est achevée, la pression développée à l'une des extrémités de la bombe se transmet à l'autre extrémité, et il se produit une oscillation qui s'amortit par suite des résistances ; la valeur

moyenne de la pression décroît en même temps, à cause du refroidissement extérieur.

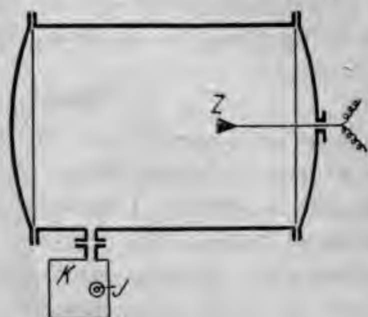


FIG. 14.

Il faut noter enfin que le maximum indiqué peut être un peu fort à cause de l'inertie du piston de l'indicateur, qui se trouve projeté d'autant plus vite que l'explosion est plus brusque, c'est-à-dire la pression initiale plus forte.

L'expérience a été recommencée en constituant les deux enceintes par la bombe et le récipient de 3^{lit},6 as-

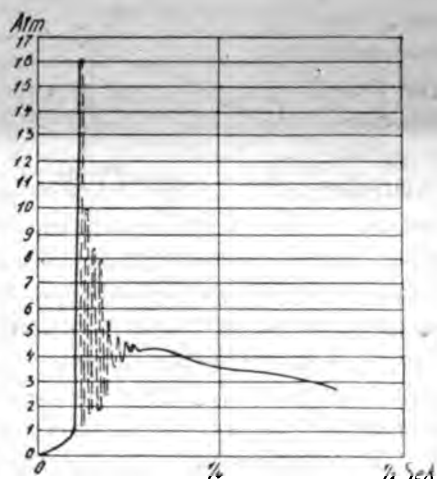


FIG. 15.

semblés comme l'indique la *fig.* 14, l'indicateur étant monté en J sur le petit récipient. La courbe de la *fig.* 15

donne la marche de la pression telle qu'elle résulte d'expériences réitérées ; mais, en tenant compte de l'inertie de l'indicateur, on a estimé que la pression maxima n'avait pas dû excéder 10 atmosphères. La durée de la combustion n'était que de $1/20^e$ de seconde environ.

Essais d'enveloppes cloisonnées. — Les résultats d'expérience ont été confirmés d'une façon frappante par l'essai d'un **interrupteur tripolaire muni de fusibles** (*fig.* 16). Il était contenu dans une boîte en fonte divisée en deux compartiments par une cloison percée d'un trou *c*. Le couvercle n'était pas absolument étanche.

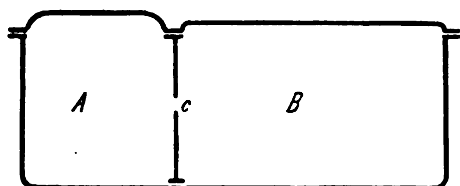


Fig. 16.

Le trou *c* étant bouché, on n'observait, à cause des fuites, qu'une pression maxima de $1^{atm},2$ en A avec le mélange à 8 0/0. *c* étant ouvert, la boîte en fonte a été brisée dans la partie B.

Un cas analogue se présenta avec un **interrupteur à plots.** Le compartiment des plots de l'interrupteur était en communication avec celui des résistances par trois trous de 6 millimètres pour le passage des conducteurs ; les trous étant bouchés, la boîte résistait à l'explosion ; les trous étant ouverts, en provoquant l'inflammation du côté de l'interrupteur, la boîte s'est brisée sur le côté des résistances.

C'est encore ce qui fut observé avec un **moteur triphasé cuirassé (n° 1 des essais de 1903)** dont l'enveloppe se composait de deux parties, l'une recouvrant le moteur proprement dit, l'autre recouvrant les bagues et les balais, séparées par une forte cloison que traversait l'arbre dans son palier.

Il ne paraissait y avoir aucune communication. Cependant, lorsque l'on provoqua une inflammation de grisou dans la cuirasse du moteur, la tôle du bout de la calotte fut violemment arrachée de ses rivets et projetée hors de la galerie d'essais,

tandis qu'une forte explosion se produisait. L'inflammation du gaz dans le compartiment du moteur avait projeté l'huile hors du palier, et tout s'était passé ensuite comme dans les précédentes expériences. En effet, en remplaçant le palier par un autre plus long et étanche, empêchant toutes les communications entre les deux compartiments, on n'observa plus de transport de flamme de l'un à l'autre.

Influence d'une herméticité imparfaite. — Au cours des expériences faites sur la protection par enveloppes closes, on avait pu constater que dans certains cas des flammes s'échappaient par les interstices de l'enveloppe sans provoquer d'inflammation extérieure. Tel avait été le cas, par exemple, de l'appareil représenté par la *fig.* 16. D'ailleurs, il est pratiquement impossible, dans la plupart des cas, de réaliser des enveloppes hermétiques, et c'est même ce qui fait qu'elles peuvent se trouver pleines de gaz détonant : les arbres des moteurs, ceux des leviers de manœuvre des interrupteurs et des rhéostats, les couvercles des boites de fusibles qu'on est appelé à ôter et à remettre, sont autant d'organes qui s'opposent à la parfaite étanchéité des enveloppes.

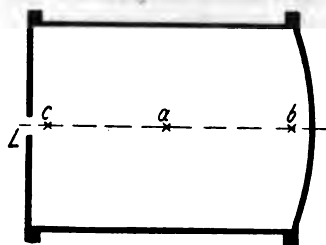


Fig. 17.

On s'est donc préoccupé d'étudier dans quelles conditions ces petites fuites inévitables n'étaient pas dangereuses.

Pour cela on disposa sur l'une des faces de la bombe des plaques munies d'orifices (*fig.* 17), et voici les plus importants des résultats obtenus, l'allumeur étant placé vers le milieu de la bombe en *a*, au fond de la bombe en *b*, ou près de l'orifice en *c*.

ORIFICE	SURFACE TOTALE découverte en mm²	TENEUR en méthane 0/0	PRESSION MAXIMA en atmosphères	RÉSULTAT { E = Explosion au dehors. N = Néant. Point c	Point a	Point b
1 trou rond de 65mm	3.300	9 env.	très faible		E	
1 60 × 40	2.400	—	0,5			E
1 32 × 45	1.440	—	1,1			N
4 ronds de 8mm	1.200	—	1,4		E	
1 32 × 25	800	—	1,63	E		
		—	1,71			N
1 32 × 20,6	660	—	1,87			N
1 32 × 20	640	9,3	2,02		E	
1 30 × 20	600	—	—		N	
1 32 × 18	576	9,16	2,3		N	
1 32 × 25	480	9,4	2,4		N	
1 32 × 12	384	9,26	3,07		N	
1 rond de 19mm	284	9 env.	4,22		N	
1 rond de 15mm	177	—	4,8		N	
Bombe fermée	»	—	6,2		N	

La pression maxima atteinte est indépendante de la position du point d'allumage ; mais il n'en va nullement de même du danger d'explosion : il est d'autant plus grand que ce point est plus rapproché de l'orifice de sortie. Il est d'ailleurs évident que, lorsque le point d'allumage est en *c*, l'explosion est immédiate même pour de très petits orifices.

Quelles sont les raisons pour lesquelles la flamme qui s'échappe d'un orifice en mince paroi peut n'être pas dangereuse? M. Beyling a expliqué le phénomène de la manière suivante :

Un mélange grisouteux présente toujours un certain retard à l'inflammation, et ce retard, appréciable déjà aux hautes températures, de 1.000° par exemple, peut devenir considérable lorsque la température de la flamme s'abaisse ; il n'est pas moindre de 10 secondes à la température de 650° d'après les expériences classiques de Mallard et Le Chatelier.

Si l'allumage se fait en *b*, lorsque la flamme se présente à l'orifice de sortie, tout le gaz contenu dans le ré-

cipient est en train de brûler, ou a brûlé, c'est-à-dire que les gaz de la flamme sont à la pression maxima qu'enregistre l'indicateur. Si cette pression est suffisante, la vitesse d'écoulement de la flamme est telle que le grisou environnant n'a pas le temps de s'enflammer; puis la pression baisse, la vitesse diminue, mais en même temps la détente refroidit la flamme, de sorte qu'à chaque instant les conditions de température et de vitesse dans lesquelles l'explosion pouvait se produire ne sont pas réalisées. D'après les expériences, il suffit donc que la pression soit de $1^{atm},1$, au moment où la flamme atteint l'orifice de sortie, pour que l'explosion ne soit pas à craindre.

Si l'on rapproche le point d'inflammation, la combustion n'a pas encore atteint tout le gaz intérieur, et la pression n'est pas encore arrivée au maximum donné par l'indicateur lorsque la flamme se présente au dehors; c'est pourquoi il peut y avoir explosion alors qu'une position plus éloignée du point d'inflammation n'en produisait pas.

Une expérience, analogue à d'autres bien connues, met bien en évidence cet ensemble de circonstances, le rôle de la pression dans la vitesse de propagation d'une explosion de grisou et le rôle de la vitesse de translation du gaz et de sa détente pour empêcher cette propagation.



Fig. 18.

Un fort tube de verre de 990^{mm} de longueur et 15^{mm} de diamètre intérieur (*fig.* 18) est fermé à l'une de ses extrémités et rempli d'un mélange fortement explosif.

Si l'on produit l'allumage en *b*, une explosion immédiate a lieu dans l'atmosphère grisouteuse ambiante, mais dans le tube la flamme se propage très lentement jusqu'au fond. Si, au contraire, on le fait en *a*, la flamme parcourt en un instant toute la longueur du tube et s'arrête brusquement à l'extrémité : le grisou extérieur ne fait pas explosion.

C'est que, dans le premier cas, les tranches dilatées des gaz brûlés sont éliminées au fur et à mesure de leur production, le mélange extérieur est enflammé par du gaz à la pression atmosphérique, et c'est aussi à la vitesse correspondant à la pression atmosphérique que la flamme remonte le tube. Dans le second cas, les premières tranches, en brûlant, viennent pousser les suivantes, et, grâce au frottement, les compriment en les échauffant : dès lors la vitesse de propagation de la flamme va en croissant, de nouvelles quantités de gaz brûlent, la pression va en s'exagérant et la vitesse de combustion également. Mais, lorsque la flamme arrive à l'orifice libre, sous pression, elle se détend brusquement, et le mélange extérieur ne peut plus faire explosion.

De même, quand un coup de grisou prend naissance au fond d'une voie en ferme suffisamment chargée de gaz, l'explosion fait des dégâts et surtout à distance et du côté des issues, tandis que, si le coup de grisou prend naissance à l'origine du cul-de-sac, celui-ci n'est pas endommagé.

Ainsi donc, grande vitesse au moment où les gaz ne sont pas encore détendus, température assez abaissée lorsque la détente est suffisamment prononcée, tels sont les facteurs qui permettent de réaliser la sécurité, dans un mélange grisouteux, d'une enveloppe imparfaitement étanche. M. Beyling donne à la cause de cette dernière propriété le nom de « force expansive » du gaz.

Cas des mélanges faiblement explosifs. — Toutes les expériences que nous venons de relater avaient été faites dans un mélange fortement explosif tenant de 9 à 9,4 0/0 de méthane. Qu'arrive-t-il avec des mélanges différents? Ils sont beaucoup plus dangereux, ainsi que le montre le tableau suivant relatif au point d'allumage en *b* :

Surface totale découverte en mm²	Teneur en méthane 0/0	Résultat
2400	8 1/2 — 9	E
1440		N
900	< 8 ou > 9 1/2	E
600	< 7 ou > 11	E
150	< 6 ou > 13	E
40		N

Ce résultat, singulier de prime abord, s'explique de la manière suivante : les expériences faites avec la bombe complètement fermée ont fait voir que la pression maxima avec les mélanges peu explosifs était obtenue lentement après un temps 3 fois pluslong, par exemple, pour les mélanges les plus faibles qu'avec le mélange fort. Il en résulte que la quantité de gaz qui a le temps de s'échapper par l'orifice est bien plus grande et que la pression maxima est considérablement moindre, à orifice égal, avec le mélange faiblement explosif qu'avec le mélange fort. La température de la flamme est, il est vrai, moins élevée dans le mélange faible, mais cette diminution de température ne compense pas l'effet de la moindre vitesse d'écoulement et de la moindre détente.

Quelques observations ont encore été faites au cours de ces expériences.

Avec les mélanges faiblement explosifs, on voit pendant une demi à deux secondes un jet de flamme sortir de l'orifice, et seulement au bout de ce temps se produit l'explosion au dehors.

Si l'inflammation d'un mélange fort est provoquée par l'incandescence d'un fil de platine, l'orifice n'étant pas assez grand pour qu'il y ait explosion à l'extérieur sur le moment, il se produit, au bout de trois secondes environ, une nouvelle explosion intérieure qui, cette fois, se propage au dehors. Cela tient à ce qu'après la première explosion le refroidissement fait pénétrer les gaz du dehors dans la bombe, où, se mélangeant avec ceux déjà brûlés, ils constituent un mélange pauvre et dangereux que la prolongation de l'incandescence suffit pour rallumer.

Essais de moteurs et d'appareils sous enveloppes closes imparfaitement hermétiques. — Ainsi que nous l'avons expliqué, la plupart des dispositifs protecteurs, prévus pour être parfaitement hermétiques, se sont trouvés

laisser passage au gaz. D'autres ont été munis à dessein d'une fermeture imparfaite pour limiter les pressions. Plusieurs essais ont donné lieu à d'intéressantes constatations que nous allons résumer.

Moteur n° 2 de 1903 triphasé, de 30 HP, 500 volts, 960 tours à la minute, à mise en court-circuit automatique. — Ce moteur

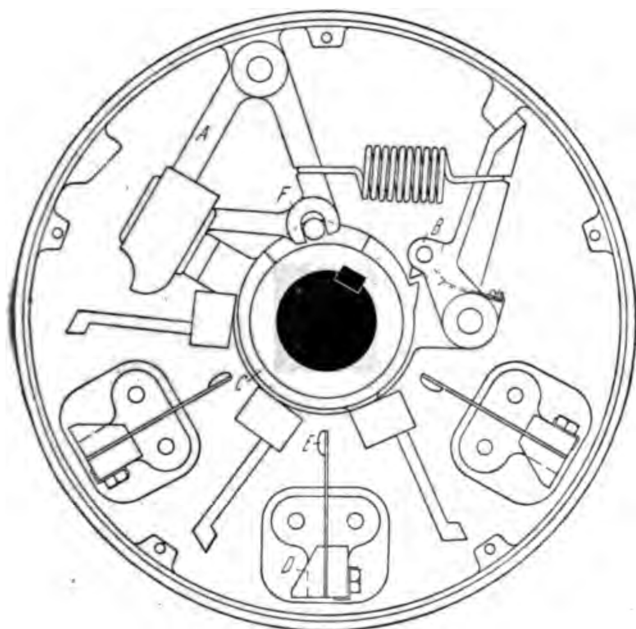


Fig. 19.

avait un double enroulement sur l'induit, l'un en cage d'écureuil à grande résistance pour le démarrage, l'autre triphasé à faible résistance pour la pleine marche. Ce dernier n'était fermé qu'à une certaine vitesse du moteur, par un interrupteur centrifuge en boite close fixée à l'arbre qui est représenté sur la *fig.* 19. Cette disposition permettait de rendre la boite absolument étanche. Du reste, l'étincelle observée au moment de la fermeture était très faible, en raison de la haute résistance de la cage

et de la charge peu élevée, et celle de rupture, survenant lorsque le moteur était presque déchargé, n'était pas visible. Un jet de grisou dirigé sur les contacts ne s'est pas enflammé.

Au cours des expériences qui ont été faites, en 1903, sur ce moteur, on a eu une explosion, au quinzième démarrage. Elle avait été provoquée par la rupture de la fourchette, qui avait donné lieu à une série d'ouvertures et de fermetures de courant, et, comme le couvercle de l'enveloppe n'était pas assez résistant, il avait été démoli.

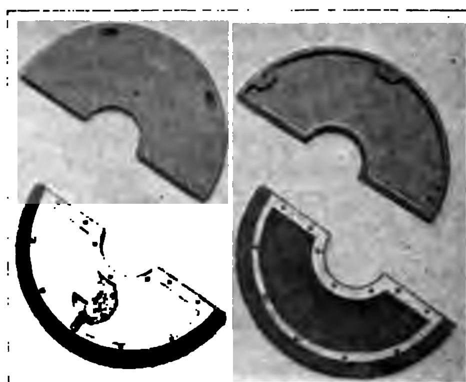


Fig. 20.

Ce moteur fut essayé à nouveau en 1904. On avait adapté sur le couvercle une fenêtre de dimension réglable et on avait doublé le tout d'une toile métallique (*fig.* 20). L'enveloppe avait une capacité de 2^{lit},5. Au repos, avec l'orifice de 100^{mm2}, il n'y eut pas transmission de l'explosion ; mais, en marche, l'explosion intérieure amena une rupture ; sans doute la force centrifuge amenait-elle une surpression de gaz sur la périphérie, et la vitesse d'inflammation s'en trouvait-elle fortement accrue.

Moteur n° 3 de 1903 triphasé, de 30 HP, 500 volts, 960 tours, à bagues collectrices en porte-à-faux sous boite close et dispositif combiné de mise en court-circuit des bagues et d'écartement des balais (*fig.* 21). — Ce moteur, établi pour les démarrages en pleine charge, avait été essayé d'abord en 1903. Par malheur, les fils de l'induit étaient conduits aux bagues par

bre, qui était creux et mettait, par suite, en communication ›oîte des collecteurs avec l'atmosphère. Aussi, après plusieurs euves qui ne donnèrent pas lieu à une explosion, le grisou la galerie avait-il pénétré petit à petit dans la boîte, et une lente explosion avait-elle tout fait sauter.

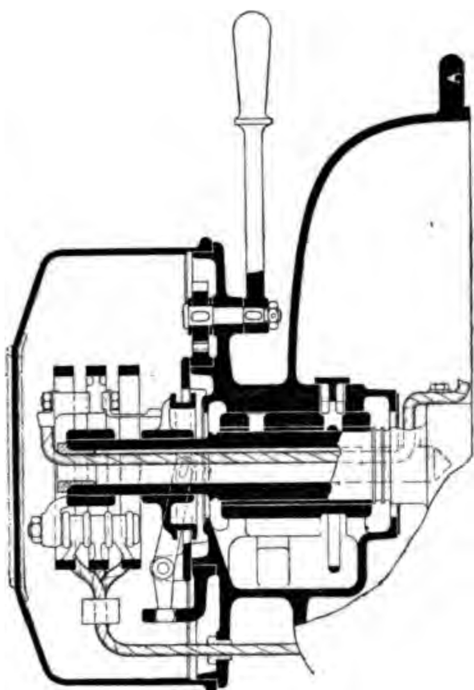


Fig. 21.

En 1904, l'arbre avait été soigneusement refait, la boîte en te avait été renforcée, et, pour plus de sûreté, avait été percée deux trous de 80^{mm^2} chacun, l'un dans l'axe de la calotte, utre à la partie supérieure de la paroi cylindrique. Les di-ensions de la boîte étaient de 340^{mm} de diamètre, 15 de pro-ndeur, 10 d'épaisseur; une garniture de caoutchouc reliait la lotte à la paroi arrière. La capacité libre s'élevait à $9^{lit},5$. Dans ces conditions, l'appareil se comporta parfaitement en élange fort, malgré les grosses étincelles du démarrage qui

provoquaient des explosions intérieures; des flammes s'échappaient par les deux trous sans enflammer le grisou; cependant une partie des gaz s'échappaient également par le palier en chassant l'huile.

Une autre série d'expériences fut refaite dans des mélanges faibles, jusqu'à 5,2 p. 100 et 13,5 p. 100 de méthane; on avait eu soin de boucher celui des deux trous qui était percé sur l'avant de la calotte. Il n'y eut pas non plus d'explosion au dehors; la pression intérieure, plus faible, ne chassait plus l'huile du palier. Les étincelles de démarrage n'allumaient, du reste, pas le mélange grisouteux, aussi le moteur était-il essayé en marche. On ne peut s'expliquer l'absence d'explosion, après les expériences faites avec la bombe, que par la compression du gaz produite par la force centrifuge.

On boucha enfin les deux trous, afin d'essayer la boîte dans les conditions pour lesquelles elle avait été construite. Il n'y eut pas d'explosion, mais, sous l'effet de la pression, le joint en caoutchouc fut expulsé. Dès lors, l'appareil n'était plus sûr. On supprima le caoutchouc et l'on appliqua directement la calotte contre la paroi arrière; cette fois, la boîte fut démolie et il se produisit une forte explosion.

Moteur continu bipolaire de 1,5 HP, 110 volts, 1.550 tours. — Ce moteur était entièrement cuirassé et son enveloppe était munie de deux portes à charnières à garniture de cuir (*fig.* 22). Les dimensions de la boîte étaient de 220 × 4[illegible] × 225mm, la contenance libre de 10 litres. En provoquant l'allumage du gaz par un allumeur, ce moteur s'est toujours bien comporté, au repos et en marche, dans les mélanges forts. Cependant des flammes apparaissaient aux fentes des portes, la garniture de cuir était en partie brûlée, l'huile était expulsée des paliers.


Fig. 22.

On fit sur ce moteur des essais sur l'influence des petits orifices : en voici les résultats, l'allumage étant produit au voisinage de l'enroulement :

	EXPLOSION AU DEHORS		NÉANT	
	NOMBRE de trous	SURFACE TOTALE en mm²	NOMBRE de trous	SURFACE TOTALE en mm²
Au repos..............	20	1.000	16	800
En marche............	34	1.700	32	1.600

On constate là encore que, sous l'influence de la rotation, le gaz se trouve porté à l'intérieur de l'enveloppe à une pression plus élevée, de nature à augmenter la force explosive, mais aussi à rendre beaucoup moins dangereuse l'existence des petits orifices.

En dehors de ces moteurs, qui donnèrent lieu à des expériences offrant un intérêt particulier, nous nous contenterons de signaler rapidement un certain nombre d'autres qui se sont diversement comportés.

Un **moteur triphasé de 2 HP, 120 volts, 1.400 tours**, à collecteurs en boîte close, essayé en mélange fort. Ce moteur s'est bien comporté, les fuites réduisaient la pression maxima à $1^{kg},25$. Il y avait de l'échauffement, et de l'huile en vapeur bleuâtre s'échappait du palier dans la boîte.

Un **moteur triphasé de 5 HP, 500 volts, 1.390 tours**, à bagues, entièrement cuirassé, présentait une fente de 1^{mm} entre les joints des couvercles et des trous de plusieurs millimètres à l'insertion des câbles. Essayé en mélange fort, il donna lieu à une explosion à l'arrêt et à une autre en marche sur deux essais.

Un **moteur triphasé de 25 HP**, entièrement cuirassé (moteur n° 1 *de* 1903, *modifié*), s'est bien comporté malgré les flammes qui s'échappaient des joints. Enfin, un autre **moteur continu tétrapolaire de 23 HP, 500 volts, 950 tours**, mais ne donnant que 11 chevaux avec sa cuirasse, ne résista pas aux essais, celle-ci étant en zinc fondu.

Les diverses enveloppes protectrices d'interrupteurs, de démarreurs ou de fusibles qui ont été soumises aux essais se sont en général montrées trop peu résistantes et plus étanches qu'il n'était nécessaire.

En mélange faiblement explosif, leur sécurité provenait, pour celles dans lesquelles les fuites limitaient la pression à une valeur assez basse, de la grande surface refroidissante opposée à l'écoulement des gaz et ressortait ainsi de considérations nouvelles qui seront examinées plus loin.

Résumé des expériences sur enveloppes closes. — Les résultats des expériences sur les enveloppes closes, hermétiques ou non, peuvent se résumer comme il suit :

Si l'enveloppe est complètement étanche, sans cloisons ni obstacles intérieurs, la pression maxima est de $6^{atm},5$, ou plus exactement, pour tenir compte de l'influence de la profondeur des travaux souterrains, de 6 fois et demie la pression initiale.

S'il se trouve à l'intérieur de l'enveloppe des cloisons à larges ouvertures, on peut tabler sur des pressions maxima de 8 atmosphères environ en certains points.

Si l'enveloppe est subdivisée en cloisons qui ne sont traversées que par de petites ouvertures, on peut, selon la dimension et le nombre des compartiments, atteindre à des pressions tout à fait excessives.

Les fuites, lorsqu'elles sont suffisamment étroites, peuvent ne pas nuire à la sécurité, tout en permettant d'abaisser la pression maxima.

La sécurité des petites ouvertures est d'autant plus grande que celles-ci sont plus réduites, que le gaz est plus fortement explosif et que le point d'inflammation du gaz est plus éloigné de l'ouverture.

D'une manière générale, une enveloppe est sûre si la pression du gaz est égale ou supérieure à $1^{atm},1$ au moment où la flamme se présente à l'orifice de sortie.

Au point de vue pratique de la construction de ces enveloppes, il faut y ajouter les remarques suivantes :

Il n'y a pas d'intérêt à avoir des enveloppes trop étanches, il est difficile de leur donner une résistance suffisante; on peut abaisser considérablement la pression

sur laquelle elles doivent travailler en y perçant de petites ouvertures; mais, dans les mélanges pauvres, ces ouvertures sont généralement dangereuses; on peut, au contraire, sans inconvénient, laisser subsister de simples fentes très étroites.

La rotation des moteurs a pour effet, avec les enveloppes imparfaitement hermétiques, d'augmenter la vitesse d'inflammation du gaz et d'élever la sécurité contre les explosions, dans une mesure qu'il est difficile de déterminer à l'avance; mais la pression maxima se trouve en même temps accrue.

Il faut avoir grand soin que les passages de conducteurs ne présentent pas de fuites trop larges. Par contre, il ne faut pas chercher à ce que ces fuites soient absolument obturées : les garnitures qui doivent, en tout état de cause, être disposées de manière à ne pas être expulsées de leur logement, sont sujettes à des détériorations, et il vaut mieux s'en passer en mettant simplement les surfaces métalliques en contact.

Enfin, les paliers doivent être construits de manière à ce que les gaz ne puissent s'échapper par les rainures de graissage en chassant l'huile.

En observant ces règles, on peut construire des enveloppes protectrices closes. Leur emploi offre certains avantages, comme de laisser pénétrer difficilement le grisou, et par suite aussi la poussière et l'humidité; d'être très robustes, et ainsi de bien protéger les appareils contre les détériorations mécaniques auxquelles ils peuvent être exposés dans la mine.

Par contre, elles ne permettent pas de ventilation, et, si l'on veut les employer à protéger en particulier des moteurs, l'échauffement auquel elles donnent lieu a pour effet de diminuer beaucoup la puissance des appareils et de les rendre plus coûteux en proportion. Ainsi donc les applications de ce mode de protection doivent-elles rester

limitées principalement à l'appareillage et à certains dispositifs spéciaux, comme ceux que nous avons signalés pour le démarrage en charge des moteurs à cage d'écureuil.

B. — La protection par tamis métalliques.

Le rôle des tamis métalliques qui permettent l'alimentation d'air dans les lampes de sûreté, tout en empêchant la flamme du grisou de les traverser, devait naturellement donner aux constructeurs l'idée d'essayer du même dispositif pour protéger les moteurs.

L'action exercée par les toiles métalliques est bien différente de celle d'une petite ouverture dans une enveloppe close ; ici, ce sont la vitesse d'échappement du gaz et la détente qui, en abaissant la température, empêchent l'inflammation de se propager ; là c'est l'échange de chaleur amené par le contact du métal, et d'autant plus actif que la vitesse du gaz est moindre, qui produit le même résultat en abaissant de même la température. Un tamis sera caractérisé par le nombre de ses mailles, la grosseur des fils et la nature du métal, et par sa dimension, c'est-à-dire par la surface refroidissante totale qu'il présente aux gaz.

Les tamis en usage pour les lampes ont 144 mailles au centimètre carré et sont en fils de $0^{mm},3$ à $0^{mm},4$. On s'est servi, pour l'étude de la protection par toiles métalliques, de tamis de cette nature, en acier, laiton ou bronze, à fils de $0^{mm},35$; la surface de passage y représente exactement le tiers de la surface totale.

Tous les appareils protégés par des tamis essayés au début avaient donné lieu à des explosions, principalement parce que la surface offerte à l'écoulement du gaz n'était pas suffisante, et que leur vitesse était trop élevée pour leur laisser le temps de se refroidir. On s'est donc pro-

posé de déterminer, à l'aide de la bombe, la surface de tamis qui doit correspondre à une capacité donnée. Pour cela on disposait sur une face de l'appareil un ou plusieurs tamis, séparés les uns des autres par des anneaux en bois de 20 millimètres d'épaisseur, et plus ou moins masqués, s'il était nécessaire, par une plaque de tôle B (*fig.* 23). La surface refroidissante totale était calculée en faisant le produit nG de l'espace découvert G par le nombre des tamis successifs n.

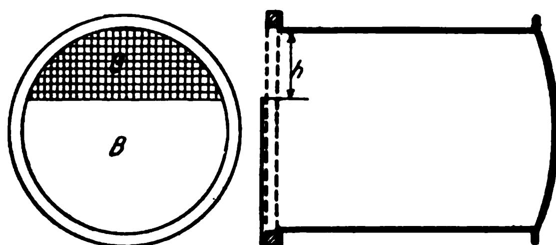


Fig. 23.

La bombe était placée horizontalement ou verticalement.

Le mélange gazeux était fortement explosif.

L'allumeur était placé sensiblement au milieu de la bombe, mais sa position n'a pas été bien repérée, car on ne s'était pas rendu compte du rôle joué par son emplacement.

Dans certaines expériences, le grisou a continué de brûler pendant un certain temps à l'intérieur de la bombe, donnant lieu à ce que nous appellerons un phénomène de perignition.

Le tableau suivant résume les résultats des expériences :

NUMÉRO D'ORDRE	POSITION DE LA BOMBE h = Horizontale v = Verticale	NOMBRE de tamis n	SURFACE découverte G	SURFACE refroidissante $n \times G$	RÉSULTAT E = Explosion N = Néant	ÉTAT DES TAMIS (numérotés de dedans en dehors)	PERIGNITION	OBSERVATIONS
1	h	1	1.104 cm2		N	Rouge faible	forte	Pas d'écran B
2	v				N	—	moyenne	
3	h		546		N		—	
4	h		528		N		—	
5	h		491		N		—	
6	h		455		N			
7	h		437		E	Rouge franc		
8	v				E			
9	h		401		E			
10	v				E			
11	h		344		E	Rouge clair		
12	h		116		E	Blanc		
13	v	2	437	874	N	1 Rouge	assez forte	
14	v		240	480	N	1 et 2 Rouges	—	E à travers le 1er tamis
15	h		225	450	N		—	—
16	v				N	—	—	—
17	v		176	352	N	—	moyenne	—
18	h		160	320	E			
19	h		116	232	E			
20	v				E	1 et 2 Blancs		
21	h	3	41	123	N	1 et 2 Fondus 3 Rouge vif	assez forte	Fort dard de flamme au dehors.

On voit, par ces expériences, que si une seule des faces de la bombe est munie de tamis, peu importe qu'elle soit horizontale ou verticale.

Le nombre des tamis a pour effet d'augmenter la sécurité beaucoup plus vite que ne croît la surface totale offerte au refroidissement des gaz.

Ainsi, avec un seul tamis, il faut, pour qu'il n'y ait pas explosion au dehors, une surface refroidissante de 455$^{cm^2}$, soit, la contenance de la bombe étant de 42 litres, 10$^{cm^2}$,8 par litre.

Avec 2 tamis cette surface descend à 352$^{cm^2}$	ou	8$^{cm^2}$,4 p. lit.
et avec 3 tamis elle s'abaisse à 123$^{cm^2}$	ou	2$^{cm^2}$,9 —

Seulement les effets calorifiques produits sur les premiers tamis sont tels qu'il n'y a pas moyen de descendre à cette limite inférieure.

Ces résultats s'expliquent : en multipliant les tamis, on diminue, dans une proportion considérablement plus grande, la vitesse d'écoulement du gaz, à pression égale, de sorte que les échanges de chaleur deviennent plus importants. Ce sont naturellement les premiers tamis qui sont le plus échauffés. D'autre part, une élévation de la pression en est aussi la conséquence, qui augmente la détente et, par conséquent, contribue à refroidir la flamme. La flamme, en forme de dard de chalumeau, observée dans l'expérience n° 21, indique bien que la détente a joué son rôle, comme dans les expériences sur les petites ouvertures. On voit que les deux facteurs de sécurité, vitesse d'écoulement et abaissement de température par la détente, viennent ainsi se substituer partiellement à l'abaissement de température par échange de chaleur.

La perignition a été à peu près générale toutes les fois qu'il n'y a pas eu explosion, et d'autant plus prononcée que la surface refroidissante était plus élevée. Elle

pouvait durer jusqu'à deux minutes, et portait les tamis au rouge faible.

Dans l'expérience n° 21 notamment, les gaz frais se sont précipités dans la bombe après l'explosion, et se sont enflammés aux premiers tamis, qui se sont incurvés vers l'intérieur.

Influence de la dimension du récipient. — Afin de se rendre compte de l'influence de la capacité de l'enveloppe sur la surface refroidissante limite, on a procédé à des expériences avec le récipient de 11 litres. La surface libre était de 96 centimètres carrés. Un tamis de 355 mailles au centimètre carré, en fil de bronze de $0^{mm},1$, a été arraché et il y eut explosion à l'extérieur. Avec la toile ordinaire, un tamis était insuffisant ($8^{cm^2},7$ par litre), et avec deux tamis la surface refroidissante limite fut de 112 centimètres carrés ($10^{cm^2},2$ par litre). Avec trois et quatre tamis espacés de $7^{mm},5$ et donnant une surface refroidissante de 96 centimètres carrés et de 64 centimètres carrés respectivement, on n'eut pas d'explosion.

Notons qu'en remplaçant l'acier par du laiton, les tamis intérieurs fondaient.

La position du point d'inflammation joue, comme on le verra, un trop grand rôle pour que l'on doive tirer quelque conclusion des petites différences observées dans les surfaces limites, selon qu'on emploie la bombe ou le petit récipient.

Influence de la position du point d'inflammation. — En désignant par *a*, *b* et *c*, comme précédemment, les différents points d'inflammation, on est arrivé aux résultats suivants :

Position *b* à 470^{mm} du tamis. Un tamis de 1.104^{cm^2}. Explosion pour les positions horizontale et verticale. Surface limite supérieure à 26^{cm^2} par litre. En avançant le

point *b* de quelques centimètres, ou en employant, avec le même point d'inflammation, un mélange un peu moins explosif, on n'observe pas d'explosion.

Deux tamis, 2.208$^{cm^2}$, soit plus de 52$^{cm^2}$ par litre : pas d'explosion, mais la flamme vient frapper violemment le tamis intérieur.

Dans la position *c*, au contraire, les tamis présentent une très grande sécurité, quelle que soit la teneur du mélange.

On voit combien la position du point d'allumage modifie profondément les résultats obtenus d'abord, qui ne peuvent, par suite, pas être regardés comme donnant des indications absolues ; il eût été plus intéressant que les plus nombreuses expériences fussent faites en partant de la position *b*.

On s'explique facilement les résultats qui précèdent. Quand on a fait les expériences avec les petites ouvertures, on a trouvé que la sécurité est d'autant plus grande que le point d'inflammation est plus éloigné, parce que la pression atteinte par les gaz en combustion au moment où ils arrivent à l'orifice y est plus élevée. Ici c'est exactement la même chose qui se produit, la résistance du tamis joue en plus petit le même rôle que la résistance de la petite ouverture, mais la pression des gaz et leur vitesse rendent moins efficace l'action des tamis, et la sécurité se trouve diminuée, alors que dans l'autre cas elle était accrue.

Influence des corps situés dans l'enceinte et des cloisonnements. — On plaça dans la bombe trois cylindres de plomb qui réduisaient la capacité intérieure à moins de 33 litres, tout en contribuant à refroidir les gaz (*fig.* 24). On pouvait compter que la sécurité serait accrue, ce fut le contraire ; le point d'inflammation étant en *a*, on observa :

		centimètres carrés		centim. carrés par litre	
Avec 1 tamis,	surface refroidissante	1.104,	soit	33,	Explosion
— 2 —	—	618,	—	19	E
	—	838,	—	25	N

Dans cette dernière expérience, la flamme traversait le premier tamis.

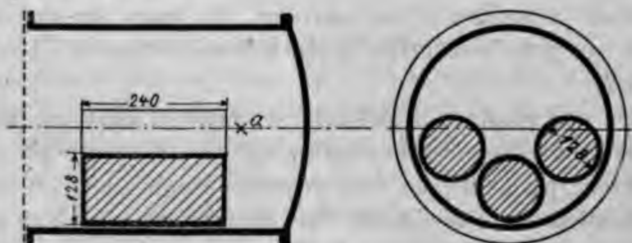


Fig. 24.

La comparaison ne peut se faire avec précision, la position du point *a* étant intermédiaire entre les points *a* et *b* des expériences précédentes. Toutefois on conçoit aisément que l'effet de ces masses soit analogue à celui des cloisonnements et produise de même des pressions anormales.

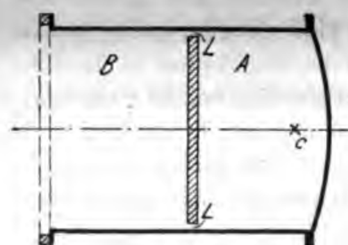


Fig. 25.

Du reste, en mettant une cloison incomplète (*fig.* 25), le résultat apparaît beaucoup plus net. L'allumage se faisait vers le fond de la bombe, en *c*; la cloison laissait un passage annulaire de 7mm,5 de largeur.

On observa :

		centimètres carrés		cent. carrés par litre	
Avec 2 tamis,	surface refroidissante	2.208,	soit	52	Explosion
— 3 —	—	3.312,	—	79	quelquefois E le plus souvent N

La surface limite était donc d'au moins 80 centimètres carrés par litre avec trois tamis successifs. Les variations observées devaient tenir à de légères différences dans la teneur en méthane.

Rien ne dit qu'avec un autre cloisonnement on n'aurait pas eu des résultats encore plus défavorables.

La surpression suffisante pour produire ces résultats n'était pas considérable : on n'a pas trouvé plus de $0^{atm},009$. La vitesse d'écoulement était cependant assez grande pour empêcher les tamis de rougir, l'huile déposée pour protéger les tamis neufs contre la rouille subsistant encore après l'explosion. Après celle-ci, les gaz chauds étaient aspirés à nouveau dans la bombe, de sorte que le tamis extérieur se trouvait porté à une température plus haute que les autres ; il rougissait même, dans le cas où l'explosion se transmettait au dehors.

Il est difficile, après ces expériences, de conserver les chiffres de *surfaces limites* qui ont été trouvés au début des essais : la position du point d'inflammation et la disposition intérieure de l'enveloppe jouent un rôle trop prépondérant. Il faut y joindre évidemment, d'après ce qui a déjà été observé, l'effet de la force centrifuge. — Tout compte fait, il semble qu'en supprimant les cloisonnements à étroites communications, on puisse estimer comme toujours suffisante une surface de 150^{cm^2} par litre, avec au moins deux tamis.

Divers autres résultats d'expériences. — Quelques expériences sur l'*écartement le plus favorable des tamis* ont fait voir que l'on doit se tenir entre 5 et 20^{mm}. Trop rapprochés, ils gênent la ventilation ; trop éloignés, ils créent un espace intermédiaire, nuisible à la sécurité.

On s'est demandé encore si, par certaines dispositions du contenu de l'enveloppe, il ne pouvait pas se produire des *jets de flammes* influant sur la sécurité. L'expérience,

Avec 1 tam[illegible]

— 2

J[illegible]

l[illegible]

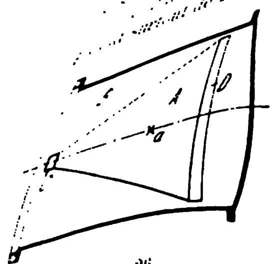


FIG. 26.

[illegible] plaçant un ento[illegible] [illegible]ré que les gaz s'écha[illegible] non directement par l'o[illegible]fice C. En obturant l'o[illegible]verture D de l'entonn[illegible] par une plaque de bois, [illegible] y eut explosion avec [illegible] tamis, il n'y en a pas [illegible] avec deux.

On pouvait craind[illegible] aussi que l'explosion i[illegible]térieure pût se propag[illegible] par des *poussières de cha[illegible]*

Des poussières finement moulues furent insufflé[illegible] dans la bombe, qui n'était fermée que par un tamis. Pa[illegible] l'explosion intérieure, une gerbe d'étincelles fut projeté[illegible] au dehors, mais il n'y eut pas explosion à l'extérieur.

On essaya aussi l'effet de *poussières mélangées d'huile* comme il peut s'en former par le fonctionnement de[illegible] moteurs dans les mines. Il y eut encore projection au dehors, mais pas d'explosion. Seulement ces poussières, en se collant à la toile métallique, diminuent son pouvoir refroidissant et la surface d'écoulement : elles sont doublement dangereuses.

Enfin, les plus *petites ouvertures* sont une cause d'insécurité. Il suffit de déplacer deux fils de manière à réunir quatre mailles en une pour provoquer une explosion. Mais on peut rendre non dangereux les défauts d'étanchéité des surfaces jointives, des paliers et des passages d'arbres, en forçant les gaz à cheminer sur une longueur assez grande et sous une épaisseur suffisamment restreinte pour assurer leur refroidissement : les expériences ont montré qu'une fente de 1/2 mm d'ouverture sur 50 mm de longueur n'est dans aucun cas dangereuse. Il n'en est pas de même avec 1 mm d'ouverture.

Étude de la perignition. — Ce que nous avons appelé la *perignition*, c'est-à-dire la persistance d'une flamme dans l'intérieur de l'enceinte pendant un certain temps, peut être une cause grave de détérioration, et par suite de danger.

On en a une preuve dans l'une des premières expériences sur les tamis, faite dans l'idée qu'il fallait offrir au gaz une issue beaucoup plus considérable qu'elle ne s'est trouvée nécessaire.



Fig. 27.

Un cylindre et une calotte avaient été entièrement faits de toile de laiton. Leurs dimensions étaient de 400^{mm} de diamètre, avec 600^{mm} de hauteur pour le premier et 150 pour le deuxième. Après l'explosion, une poussée de gaz se fit vers l'intérieur, en même temps que la perignition maintenait les tamis au rouge, et le cylindre prit la forme que représente la figure 27. Le métal était presque fondu.

La bombe ayant été munie de tamis sur ses deux faces, et placée verticalement comme l'indique la *fig.* 28, condition évidemment la plus propre à entretenir la combustion, celle-ci n'a pas duré moins de vingt minutes, et n'a

disposée comme l'indique la *fig.* 26, en plaçant un entonnoir au milieu de la bombe, a montré que les gaz s'échappaient surtout de D vers A, et non directement par l'orifice C. En obturant l'ouverture D de l'entonnoir par une plaque de bois, il y eut explosion avec un tamis, il n'y en a pas eu avec deux.

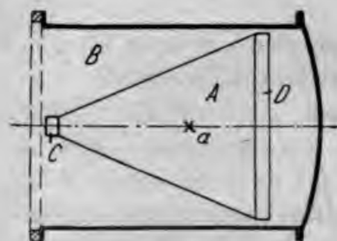


Fig. 26.

On pouvait craindre aussi que l'explosion intérieure pût se propager par des *poussières de charbon*. Des poussières finement moulues furent insufflées dans la bombe, qui n'était fermée que par un tamis. Par l'explosion intérieure, une gerbe d'étincelles fut projetée au dehors, mais il n'y eut pas explosion à l'extérieur.

On essaya aussi l'effet de *poussières mélangées d'huile*, comme il peut s'en former par le fonctionnement des moteurs dans les mines. Il y eut encore projection au dehors, mais pas d'explosion. Seulement ces poussières, en se collant à la toile métallique, diminuent son pouvoir refroidissant et la surface d'écoulement : elles sont doublement dangereuses.

Enfin, les plus *petites ouvertures* sont une cause d'insécurité. Il suffit de déplacer deux fils de manière à réunir quatre mailles en une pour provoquer une explosion. Mais on peut rendre non dangereux les défauts d'étanchéité des surfaces jointives, des paliers et des passages d'arbres, en forçant les gaz à cheminer sur une longueur assez grande et sous une épaisseur suffisamment réduite pour assurer leur refroidissement : les expériences ont montré qu'une fente de 1/2^{mm} d'ouverture sur 50^{mm} de longueur minima n'est dans aucun cas dangereuse. Il n'en est pas de même avec 1^{mm} d'ouverture.

Étude de la perignition. — Ce que nous avons appelé *perignition*, c'est-à-dire la persistance d'une flamme ns l'intérieur de l'enceinte pendant un certain temps, ut être une cause grave de détérioration, et par suite danger.

On en a une preuve dans l'une des premières expériences sur tamis, faite dans l'idée qu'il fallait offrir au gaz une issue aucoup plus considérable qu'elle ne s'est trouvée nécessaire.



Fig. 27.

Un cylindre et une calotte avaient été entièrement faits de toile laiton. Leurs dimensions étaient de 400mm de diamètre, avec 0mm de hauteur pour le premier et 150 pour le deuxième. Après xplosion, une poussée de gaz se fit vers l'intérieur, en même mps que la perignition maintenait les tamis au rouge, et le cydre prit la forme que représente la figure 27. Le métal était esque fondu.

La bombe ayant été munie de tamis sur ses deux faces, placée verticalement comme l'indique la *fig*. 28, condion évidemment la plus propre à entretenir la combuson, celle-ci n'a pas duré moins de vingt minutes, et n'a

été arrêtée que par l'excès des gaz brûlés. La circulation des gaz faisait un bruit de sirène. La flamme se tenait contre le tamis inférieur, à l'arrivée du mélange, mais son renouvellement continuel empêchait le tamis d'être plus qu'au rouge faible. Le tamis supérieur était aussi au rouge faible.

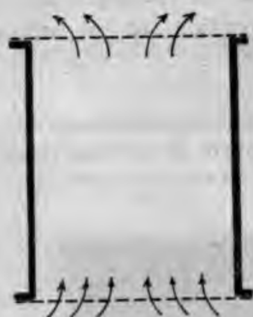


Fig. 28.

Avec plusieurs tamis, on observa les mêmes effets, mais seuls les tamis intérieurs étaient rouges.

En répétant ces expériences, on eut à plusieurs reprises des explosions : c'était le soufre de l'allumeur qui brûlait, fondait et traversait les tamis.

Avec la bombe horizontale à un tamis (*fig.* 29), on observe aussi la perignition. La circulation se fait comme l'indiquent les flèches, et les flammes, léchant la toile métallique, la portent au *rouge vif*. La durée a atteint jusqu'à trois minutes.



Fig. 29.

Les expériences que nous avons indiquées plus haut montrent que la perignition se produit aussi avec des surfaces de tamis réduites, avec la bombe verticale, ainsi qu'avec des tamis multiples.

En définitive, la perignition ne s'est pas montrée dangereuse par elle-même, mais seulement par ses conséquences indirectes, par les détériorations d'isolement et les courts-circuits qui peuvent s'ensuivre par exemple. Le principal est de protéger les toiles métalliques contre les suites de ces effets.

La ventilation des moteurs est de nature à faciliter la

erignition. Dans le cas d'une ventilation naturelle, on eut en restreindre la durée par la disposition de la *fig.* 30. a surface du tamis supérieur n'était que de 96^{cm2} contre .104^{cm2} pour l'autre. De cette façon, les gaz brûlés sor- ient moins facilement et ne tar- aient pas à remplir la bombe. En ffet, la perignition fut de 2 se- ondes seulement.

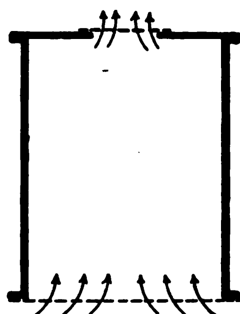


Fig. 30.

En retournant la bombe, au ontraire, elle dura 12 minutes.

Dans le cas d'une ventilation rtificielle, on a cherché à réaliser utomatiquement une suspension le la ventilation au moment de 'inflammation du grisou. Une sou- ape à ressort imaginée dans ce it couvrait l'orifice inférieur de la bombe. En cas explosion, elle devait s'appuyer sur son siège et y être aintenue par un cran d'arrêt. Malheureusement le cran fonctionna pas. La soupape se relevait, et la combustion était pas arrêtée. Il est clair que des dispositifs mieux ablis auraient produit le résultat cherché. Reste à sa- ir si l'on pourrait s'y fier au fond d'une mine avec la ussière ou l'humidité.

Résumé des propriétés des tamis. — La protection par mis présente une sécurité d'autant plus grande que la rface de tamis est plus grande par rapport au volume térieur de l'enveloppe, que le point d'inflammation est us près du tamis, que le mélange grisouteux est plus iblement explosif.

La surface cumulée minima des tamis est d'autant oindre que le nombre de mises est plus élevé, c'est-à- ire qu'il y a un plus grand nombre de tamis l'un derrière 'autre.

Si des objets encombrent l'intérieur de l'enveloppe et surtout s'il y a des cloisons percées d'étroits orifices, cette surface augmente considérablement.

Il doit enfin en être de même avec tout ce qui peut augmenter la pression initiale du gaz, comme la profondeur des travaux souterrains et la force centrifuge.

On peut estimer qu'avec deux tamis au moins et sans cloisonnements trop défavorables, il suffit, en tous cas, d'offrir une surface refroidissante cumulée de 150^{cm^2} par litre.

Le tamis normal de 144 mailles au cm^2 en fils de $0^{mm},35$ donne de bons résultats. Les tamis plus fins sont dangereux, parce qu'ils fondent et se déchirent facilement; trop lâches, ils deviennent inefficaces.

Au point de vue du pouvoir refroidissant, l'acier, le laiton et le bronze s'équivalent. Mais le premier se rouille, le second fond trop facilement.

En employant au moins double tamis, les jets de flammes qui peuvent se produire en certains points ne sont pas dangereux, non plus que les étincelles provenant de particules de charbon. Le cambouis formé par l'huile et les poussières n'abaisse la sécurité que parce qu'en se collant aux tamis il diminue le pouvoir refroidissant et la surface d'écoulement.

L'écartement des tamis peut varier sans inconvénient entre 5 et 20^{mm}.

Les moindres défauts des tamis, et toutes les fentes sont très dangereux. On ne peut en excepter que les fentes d'au plus $1/2^{mm}$ d'ouverture avec lèvres d'au moins 50^{mm} de profondeur.

La perignition est d'autant plus intense que la surface de tamis est plus grande et que la ventilation, naturelle ou artificielle, est meilleure. Elle se trouve localisée du côté de l'arrivée du gaz; c'est là également qu'il se dégage le plus de chaleur.

La perignition n'est pas dangereuse en elle-même, quand les tamis sont en plusieurs mises et disposés de manière que les flammes ne viennent pas les lécher. Cependant, si elle se prolonge trop, tout danger d'explosion n'est pas écarté, parce que les tamis travaillent trop. On doit en outre éviter que, par le fait de la perignition, des matières combustibles ne puissent tomber sur les tamis.

Essais de moteurs et d'appareils sous enveloppes à tamis. — Les premiers moteurs essayés sous enveloppes à tamis n'ont donné lieu qu'à des insuccès. Leurs imperfections étaient dues tant à l'insuffisance de la surface offerte au refroidissement du gaz qu'à des défauts de construction qui n'apparaissaient pas à première vue, et qui ont souvent longtemps dérouté les expérimentateurs. Nous allons résumer les plus typiques de ces essais.

Moteur n° 5 de 1903, triphasé de 5 HP, 500 volts, 1.500 tours, à bagues. — Ce moteur était complètement enveloppé d'une armature en fonte portant des fenêtres garnies de tamis de 56 mailles au cm^2 en fil de $0^{mm},3$.

La surface refroidissante était de 940^{cm^2} pour une capacité libre de 20 litres environ.

Les étincelles enflammèrent le grisou et provoquèrent une explosion sans détérioration du moteur, les tamis supérieurs étaient chauds et rouges.

Après diverses recherches, on s'aperçut que, dans le dessous du bâti, 4 ouvertures d'une surface totale de 1^{dm^2} n'étaient pas munies de tamis. Indépendamment de cela, comme l'indiquent les expériences fondamentales, la surface de tamis était trop faible, et l'ouverture des mailles trop grande.

Moteur n° 6 de 1903, triphasé de 7,5 HP, 500 volts, 1.450 tours, à cage d'écureuil. — Ce moteur était muni d'une double enveloppe, une cuirasse complète en tôle fixée aux paliers, qui ne fut pas mise pour les essais, et une seconde enveloppe munie de fenêtres à tamis. Ces tamis étaient à 144 mailles en laiton de $0^{mm},3$. On provoqua l'inflammation du grisou par l'incandescence d'une spirale de platine.

Il y eut explosion; les tamis présentaient après l'explosion des

taches blanches, puis furent troués, dans un second essai, en deux de ces points.

Ces taches blanches provenaient, comme on le reconnut, de ce que l'on avait employé de la couleur à l'huile comme lut et qu'il s'en était répandu sur le tamis; elle avait été réduite en cendres. La flamme d'un chalumeau produisait les mêmes effets.

On attribua la production des taches et la détérioration des tamis en ces points à des jets de flamme particulièrement forts, analogues à ce qui se passe dans une lampe de sûreté à un tamis quand on la place dans un courant grisouteux suffisamment rapide. Les expériences fondamentales dans lesquelles cette question a été examinée ne confirmeraient pas absolument cette hypothèse. — La surface refroidissante était surtout beaucoup trop faible.

On découvrit en outre qu'un petit trou de 30^{mm} de diamètre avait été laissé dans la partie inférieure de la carcasse pour le passage de l'huile.

Ce moteur fut essayé complètement clos, à l'exception de ce trou, mais il donna lieu à une violente explosion qui endommagea sa cuirasse.

Moteur n° 7 de 1903, continu-série tétrapolaire de 6,5 HP,



Fig. 31.

500 volts, 400 tours (*fig.* 31). — Les balais étaient fixes. Le moteur était enveloppé d'une cuirasse en fonte à deux fenêtres seule

ent, munies de tamis de 56 mailles en laiton de $0^{mm},3$. Leur rface était de 190^{cm^2} pour une capacité de 17 litres. Elle était nc insuffisante et il y eut explosion. On souda un premier mis, un autre en bronze de 1.024 mailles. Le résultat fut que s tamis fondirent sur une large étendue. Il est clair, d'après les périences fondamentales, qùe la surface refroidissante était en trop faible; mais, de plus, la chambre des moteurs était encre en relation avec l'extérieur par des trous d'huile et par les liers.

Ce moteur fut essayé à nouveau après avoir remédié à ces défauts en munissant les fenêtres du tamis normal en laiton en ises distantes de $4^{mm},5$. Avec trois mises, il y eut explosion ; ec quatre, pas d'explosion. La surface refroidissante était dans cas de 45^{cm^2} par litre. Les tamis intérieurs étaient portés au uge ; la perignition n'était que de quelques secondes, que le oteur fût au repos ou à l'arrêt. Avec ce nombre de tamis, la ntilation était faible.

Moteur n° 1 de 1903, triphasé de 25 HP, 500 volts, 760 tours, à agues. — Ce moteur, dont nous avons déjà relaté un essai sous



FIG. 32.

veloppe close, a également été expérimenté avec tamis (*fig.* 32). chambre du moteur, soigneusement séparée de celle du col-

lecteur, était munie de 7 fenêtres, l'une inférieure de 140 × 83^{mm}, les autres de 83^{mm} de diamètre. La contenance intérieure était de 55 à 60 litres. On obtint la sécurité avec quatre mises de tamis comportant une surface refroidissante de 1.730$^{cm^2}$, soit environ 30$^{cm^2}$ par litre. Les jets de flamme observés montrent que la sécurité tenait en partie à la résistance à l'écoulement. La perignition durait quelques secondes. Comme la disposition des ouvertures la facilitait, on essaya sur l'ouverture inférieure, puis sur les autres, de munir les fenêtres de soupapes à ressort qu'une surpression de 0^{atm},016 suffisait pour abaisser. Le résultat fut nul. — La ventilation était faible.

L'enveloppe du collecteur fut aussi expérimentée avec succès avec 2 tamis superposés de 390^{mm} de diamètre.

La contenance étant de 20 litres, cela correspond à 120$^{cm^2}$ par litre. La perignition était courte et non dangereuse.

Moteur n° 2 de 1903. — Le dispositif de mise en court-circuit automatique, qui avait déjà été expérimenté en boîte fermée (Voir *fig.* 19), a été essayé également avec tamis (*fig.* 33). Les tamis étaient en toile de laiton de 144 mailles et fils de 0^{mm},3; ils étaient doublés, à 3^{mm} d'intervalle.

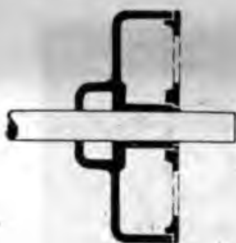


Fig. 33.

Au repos, il y eut perignition pendant 3 secondes, mais pas d'explosion.

En marche, on constata un violent courant gazeux, aspiré par le centre et sortant par la périphérie. La perignition était très vive; le tamis intérieur fondit en quatre places, puis l'autre tamis, et il y eut enfin une explosion.

L'expérience fut recommencée avec tamis en fils de 0^{mm},35. Un seul tamis suffisait avec le moteur au repos; la perignition durait peu. Avec 2 tamis et en marche, on observa une forte perignition. Au bout de huit minutes, le moteur fut arrêté, le ressort de la mise en court-circuit avait rougi et n'était plus utilisable, le lut des tamis était fondu, une explosion n'aurait pas tardé à se produire.

Cette expérience montre bien l'influence de la vitesse des courants gazeux.

Moteur triphasé de 30 HP, 500 volts, 960 tours, et mise en



Fig. 34.

court-circuit automatique suivie du relèvement des balais (*fig.* 34). — La protection portait sur le collecteur. Celui-ci était disposé avec bagues fixes et balais tournants; un appareil centrifuge déterminait la mise en court-circuit des balais à une vitesse déterminée, puis les écartait des bagues. Le tout était enfermé dans une enveloppe à large surface de tamis dont la *fig.* 35 donne les dimensions. Les tamis étaient de 144 mailles en laiton de 0mm,3, doublés à 3 millimètres d'intervalle et protégés par une tôle perforée placée

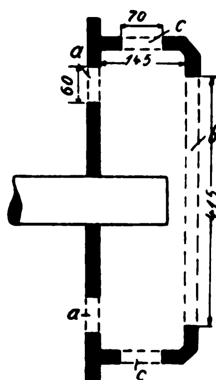


Fig. 35.

à 3^{mm} de distance. Ils étaient lutés après leur armature. Les étincelles n'allumaient pas le grisou, on y parvint en ajoutant de la filasse.

On s'aperçut d'abord à une première explosion qu'il restait de petites ouvertures de 2^{mm} à l'insertion des conducteurs.

Ensuite il se produisit une forte perignition, le lut d'un tamis fondit et une explosion eut lieu. Les ressorts des balais avaient rougi.

On obtura les orifices *a* et *b*. On observa dès la mise en marche une perignition de quatre secondes. En augmentant la vitesse la flamme s'éteignait aussitôt. Si, au contraire, on arrêtait le moteur, celle-ci se prolongeait.

Moteur continu tétrapolaire de 23-11 HP, 500 volts, 950 to[illegible] — Ce moteur, muni d'une enveloppe entièrement close aut[illegible] des enroulements qui n'avait pas résisté aux essais, avait [illegible]

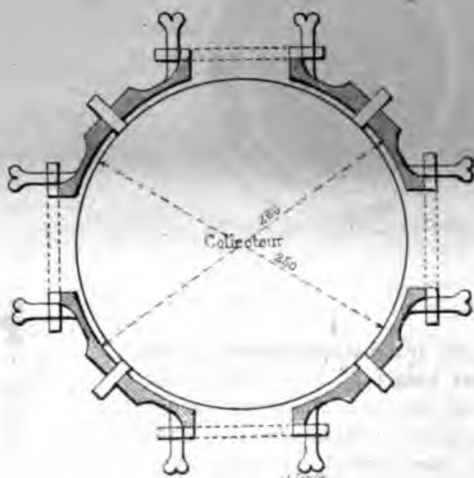


Fig. 36.

collecteur protégé par une étroite chemise munie de double toiles métalliques (*fig.* 36, 37). Elles étaient à mailles de 144 e à fils d'acier de 0^{mm},3, et distantes de 3 millimètres. Le jeu [illegible] entre l'enveloppe et l'induit était de 0^{mm},5. Les charbons passaien[illegible] à frottement dans l'enveloppe.

Une première explosion montra qu'il existait des canaux de ventilation reliant la boite du collecteur à l'induit. Ceux-ci ayant été obturés, on eut encore de nouvelles explosions, par la gaine de passage des charbons, laquelle était émaillée et ne refroidissait pas les gaz. On ne pouvait pas songer à obturer ces joints d'une manière étanche. Du reste, malgré la faible capacité intérieure, 1^{lit},5, la rotation entraînait une vive perignition.

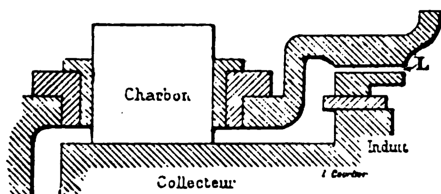


Fig. 37.

Comme appareils, on a essayé un **controller triphasé avec résistance**; la résistance en maillechort était enfermée dans une caisse portant des doubles tamis sur chacune de ses faces. Ces tamis, de 144 mailles, étaient en fil de laiton de 0^{mm},35 et distants de 10^{mm}. Essayé en 1903, cet appareil avait donné lieu à une explosion, et l'on en avait d'abord cherché la cause dans l'insuffisance de la surface refroidissante. Après les expériences fondamentales, on s'aperçut qu'un trou de 2^{mm} $\times$ 5^{mm} avait provoqué l'explosion. Cet appareil donna une forte perignition.

Comparaison entre l'enveloppe imparfaitement close et le tamis. — Tous ces essais ont fait voir que l'emploi de la protection par tamis est fort délicat. Si l'on y ajoute le danger de détérioration et la difficulté d'entretien, on peut craindre qu'elle ne se trouve bien facilement en défaut.

Or, si l'on rapproche des propriétés des toiles métalliques celles des petites ouvertures qui ont été étudiées auparavant, on arrive à une constatation des plus remarquables : c'est que les principales conditions de sécurité y sont exactement opposées :

Sécurité maxima.

ENVELOPPE IMPARFAITEMENT CLOSE.	ENVELOPPE A TAMIS.
Grand refroidissement par la détente.	*Grand refroidissement par contact.*
Grande pression, grande vitesse.	Faible pression, faible vitesse.
Mélange fortement explosif.	Mélange faiblement explosif.
Orifice très étroit.	Orifice très large.
Point d'inflammation loin des ouvertures.	Point d'inflammation près des tamis.

Chacun de ces dispositifs protecteurs a, en quelque sorte, son champ de sécurité spécial, et ces deux champs sont tout à fait distincts. En multipliant le nombre des tamis, on étend le second champ du côté du premier, et l'on conçoit que l'on puisse arriver à les superposer, comme l'expérience n° 21 (p. 202) en donne une idée, de manière que les issues offertes à l'écoulement du gaz puissent indifféremment être multipliées ou réduites en assurant dans tous les cas une sécurité complète, quelles que soient la position du point d'inflammation et la puissance explosive du mélange.

En d'autres termes, on peut se proposer de trouver des orifices d'échappement disposés de telle façon que chacun d'entre eux isolément agisse à la manière d'un petit orifice d'enveloppe close quand le gaz s'y présente avec une forte pression, et à la manière d'une toile métallique quand il s'y présente avec une faible pression.

C'est ce que M. Beyling a cherché à réaliser, en imaginant successivement divers dispositifs que nous allons décrire.

C. — L'ENVELOPPE A CHICANES.

On a pensé d'abord à faire circuler les gaz entre des plaques en chicanes. Elles étaient disposées sur une des faces de la bombe, comme l'indique la *fig.* 38.

La surface des orifices des tôles a varié de 200 à 1.620^{mm2}; la surface refroidissante de chaque tôle (aire balayée par les gaz), de 240 à 2.400^{mm2} ; l'écartement des tôles, de 3 à 44^{mm} ; la longueur minima de parcours entre les orifices de deux tôles consécutives, de 28 à 70^{mm} ; le nombre des tôles, de 2 à 6.

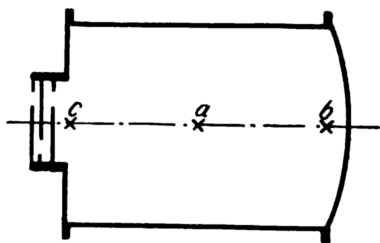


Fig. 38.

Le pouvoir refroidissant de ce dispositif s'est montré très faible : toutes les fois que l'inflammation a été produite au point *c*, il y a eu explosion; toutes les fois que le mélange devenait moins explosif, la sécurité diminuait.

Le pouvoir refroidissant n'était cependant pas négligeable. Ainsi, avec 2 tôles, allumage en *a*, on n'obtenait pas d'explosion avec un orifice de 1.200^{mm2}, tandis qu'avec 1 tôle on en avait avec 640^{mm2}. Or la pression du gaz était un peu moins élevée dans le premier cas que dans le second, 1^{atm},96 contre 2^{atm},02, et la sécurité de ce fait seul aurait dû être un peu moindre. A orifice égal, le nombre des tôles élève rapidement la pression : on a trouvé, pour 1.200^{mm2}, 1^{atm},96 avec 2 tôles contre 1^{atm},4 avec une.

Des expériences ont été faites encore en disposant des chicanes sur les deux faces de la bombe. Avec le point d'inflammation en *a* vers le milieu de la bombe, des orifices de 1.100^{mm2} donnant une surface d'échappement to-

tale de 2.200^{mm2}, on a eu explosion avec deux tôles, et pas d'explosion avec trois. Il est clair que, dans ce cas, les différents facteurs de la sécurité agissaient simultanément.

On n'a jamais observé de perignition, et cela parce que la flamme n'éprouvait aucune difficulté à rentrer à l'intérieur de la bombe.

Ce dispositif, essayé sur le moteur n° 1 de 1903, donnait lieu, même en marche et en mélange fort, à des explosions, quand le point d'inflammation se rapprochait des chicanes.

Il ne s'est pas montré, en résumé, susceptible d'application.

D. — L'ENVELOPPE A TUBES.

On a encore cherché à augmenter le pouvoir refroidissant en faisant circuler le gaz le long d'un tube.

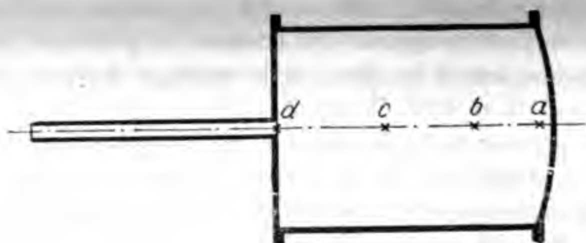


Fig. 39.

L'expérience était disposée comme l'indique la *fig.* 39, avec un tube de fer de 1.210^{mm} de longueur et 49^{mm} de diamètre, donnant un orifice de sortie de 1.886^{mm2} ; le mélange gazeux était fortement explosif.

L'inflammation provoquée en *a* a donné lieu à une explosion intérieure des plus violentes avec fort jet de flamme, sans propagation au dehors. En *c*, l'explosion in-

térieure n'avait plus de force. En *d*, il y eut explosion à l'extérieur.

Là encore le principal facteur de sécurité restait le premier des gaz en combustion. Cependant l'effet refroidissant était aussi appréciable, car un orifice aussi large en mince paroi aurait certainement été insuffisant dans les mêmes conditions d'inflammation.

Le défaut de refroidissement tient à ce que, dans un tube de si large diamètre, une partie du gaz ne vient pas assez en contact avec les parois.

On a répété l'expérience avec un tube sur chacune des faces, les résultats ont encore été moins favorables, puis avec 12 tubes de 500^{mm} de longueur et de 12^{mm} de diamètre donnant un orifice de sortie total de 1.356$^{mm^2}$, enfin avec même disposition sur les deux faces; les résultats ont été en tous points analogues.

La protection par tubes n'est donc pas d'une application pratique.

E. — L'ENVELOPPE A BRIDES.

L'inconvénient des deux précédents systèmes est de ne pas partager assez finement le gaz, comme le font les mailles d'un tamis. L'enveloppe à brides consiste à donner comme issue aux gaz des fentes étroites et profondes en les faisant circuler entre deux brides rapprochées (S, *fig*. 40).

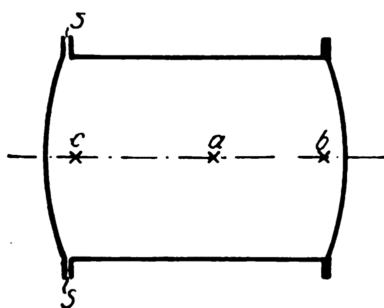


Fig. 40.

Dans les expériences avec la bombe, on a donné aux brides une largeur uniforme de 50^{mm} ; on a observé les résultats suivants :

Avec une fente de $1^{mm},2$, donnant un orifice de sortie de 1.260^{mm^2} et un mélange fort :

Allumage en *b*, explosion intérieure très violente, fort jet de flamme au dehors, pas de propagation à l'extérieur ;

Allumage en *a*, jet de flamme, pas de propagation de l'explosion ;

Allumage en *c*, pas de jet de flamme, mais un sifflement long et faible, pas de propagation de l'explosion.

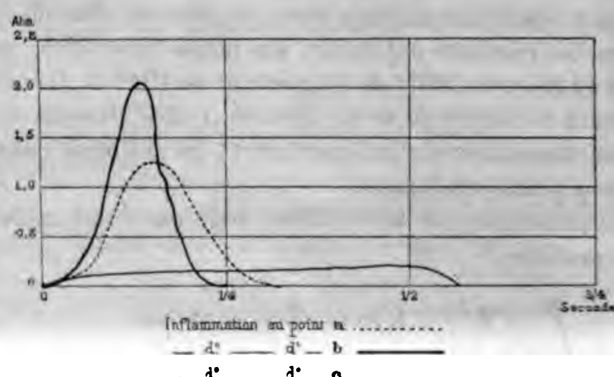


Fig. 41.

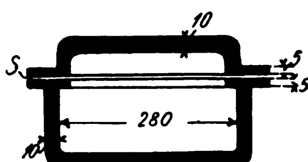
La loi des pressions correspondantes est donnée sur la *fig*. 41. On voit bien, d'après les courbes, que la sécurité provient, dans la position *b*, de la pression du gaz et, dans la position *c*, uniquement du refroidissement par les parois.

Avec des mélanges faibles, on n'a pas eu non plus d'explosion au dehors. Il n'y a jamais eu de perignition.

Avec une fente de $2^{mm},4$, on a régulièrement observé une perignition suivie d'explosion.

Avec un écartement supérieur, l'explosion est immédiate.

:omme application, nous signalerons l'essai d'un **démarreur** **hasé** mentionné plus haut (p. 183) (*fig.* 42). Le joint en ›utchouc ayant été essayé sans :cès, on s'est contenté de rap›cher les brides de la boîte et couvercle, qui avaient 25mm largeur. A 0mm,7 d'écarte›nt, on n'a pas eu d'explosion ; :c 0mm,9, on en a eu.



Parmi les différentes en›oppes essayées, nous avons à vu les mêmes propriétés manifester à maintes re›ses, lorsque les flammes ›taient par les joints ou - les paliers en expulsant ›ile.

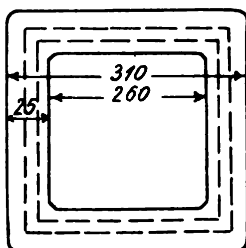


Fig. 42.

›itons notamment le cas d'un **moteur triphasé** de 6 HP dont le collecteur était en boîte close imparfaitement étanche et dont l'arbre traversait un long palier (*fig.* 43).

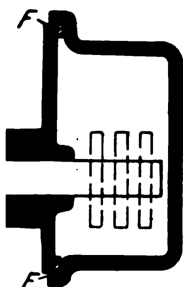


Fig. 43.

Ces résultats sont d'un intérêt évident, ils permettent d'éviter dans les joints le caoutchouc ou l'amiante qui peuvent se détériorer ou s'en aller : il n'y a qu'à présenter en contact des surfaces assez larges. Ils permettent encore d'empêcher les insertions de câbles, les paliers, les ›ssages d'arbres d'être dangereux : il n'y a qu'à leur ›nner une longueur suffisante.

On ne doit pas cependant laisser systématiquement aux ›ntes une certaine ouverture ; on risquerait que quelque ›rconstance fortuite ne les fît devenir trop grandes.

En particulier, dans la protection par tamis, il ne faut pas, comme on l'a vu, que les fentes aient moins de 50mm de profondeur et plus de 0mm,5 d'ouverture.

F. — L'ENVELOPPE A PLAQUES EMPILÉES.

En se basant sur les résultats de la protection par enveloppes et à brides, et en cherchant à assurer en même temps la ventilation des appareils, on est arrivé à imaginer l'enveloppe à plaques empilées, qui équivaut à plusieurs brides juxtaposées.

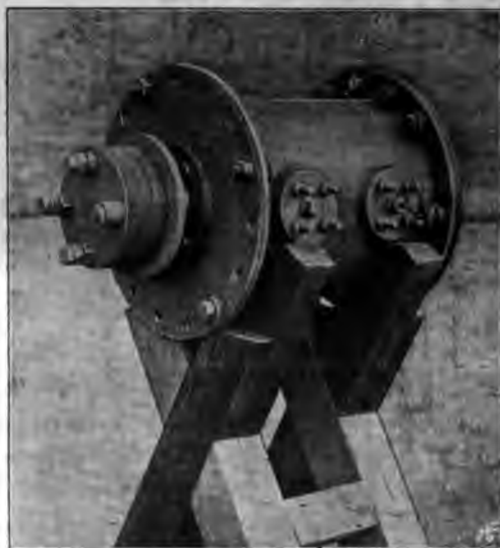


Fig. 44.

Les essais avec la bombe ont été faits en empilant des rondelles de tôles de 0mm,5 d'épaisseur, maintenues par de petites rondelles à 0mm,5 d'intervalle. Leur diamètre intérieur était de 100mm, leur diamètre extérieur de 200mm,

ce qui laissait aux fentes une longueur de 50^{mm} et un orifice d'écoulement de 157^{mm2} par rondelle (*fig.* 44, 45).

On a essayé successivement en mélange fort depuis cinquante jusqu'à trois plaques empilées, donnant des orifices d'écoulement de 7.850 à 471^{mm2}; dans ce dernier cas, les plaques étaient fortement chauffées, sans arriver cependant au rouge; les courbes des pressions sont données par la *fig.* 46.

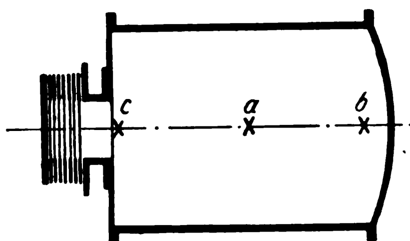


Fig. 45.

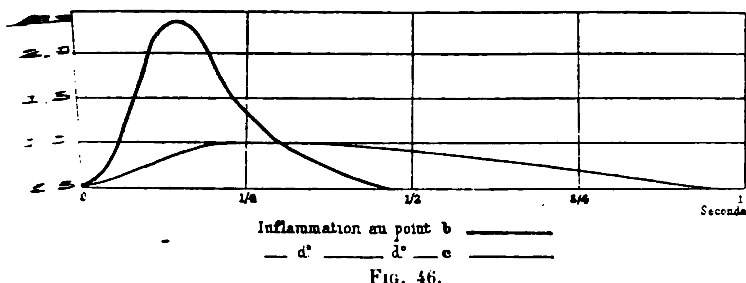


Fig. 46.

En plaçant cinquante plaques sur chacune des faces de la bombe, on a réalisé un orifice total de 15.700^{mm2}, sans que les indications de sécurité cessent d'exister.

Enfin, un essai fait sur une grande caisse imparfaitement étanche, de 300 litres de capacité et munie de piles de plaques sur deux de ses faces (*fig.* 47), a été également satisfaisant.

Dans ces deux derniers essais, l'indicateur n'a révélé aucune pression appréciable.

Le dispositif s'est aussi bien comporté avec les mélanges faiblement explosifs qu'avec les autres.

On voit par l'ensemble de ces constatations que, selon les cas, la sécurité provient de la force expansive et de la vitesse du gaz, ou bien du refroidissement par les sur-



Fig. 47.

faces métalliques ; on a réalisé un système qui est indépendant, non seulement de la position du point d'inflammation et de la force du mélange, mais encore de la grandeur de la surface refroidissante et de l'orifice d'écoulement. On peut, en multipliant les plaques, limiter à volonté la pression maxima intérieure et faciliter en même temps l'aération.

Des expériences faites avec 1^{mm} d'écartement ont provoqué plusieurs explosions.

On n'a pas recherché si l'épaisseur des plaques pouvait être réduite.

La nature du métal importe peu ; si l'on craint la rouille de la tôle, on peut employer le fer-blanc, le laiton ou le bronze.

La perignition a été rare et n'a duré que quelques secondes.

Dans le cas le plus défavorable, de la bombe placée verticalement et portant des plaques empilées sur ses deux faces (*fig.* 48), elle a duré au maximum sept secondes ; jamais les plaques n'ont rougi.

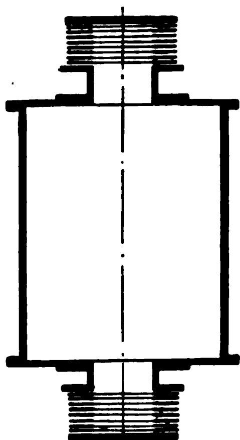


Fig. 48.

Une ventilation artificielle doit prolonger la perignition, mais elle peut devenir nécessaire pour avoir un aérage suffisant ; il suffit de placer des palettes sur l'arbre du moteur.

La pile de plaques joint à son efficacité l'avantage d'être d'une construction autrement robuste que les tamis. On peut d'ailleurs parfaitement allier les deux systèmes.

Essais de moteurs et d'appareils sous enveloppes à plaques empilées. — On n'a pu encore procéder sur ce mode de protection qu'à un nombre restreint d'essais.

Controller triphasé. — Cet appareil était mis dans une boîte de fonte dont la résistance était manifestement trop faible.

En plaçant sur un trou de petit diamètre une pile de 20 plaques, l'explosion fendit le couvercle. Il fut consolidé, on mit 40 plaques, l'appareil se montra parfaitement satisfaisant.

Moteur triphasé de 35 HP, 500 volts, 750 tours. — Ce moteur comportait un induit à collecteur et un dispositif pour relever les

balais ; il était muni d'un ventilateur à palettes pour l'aération.

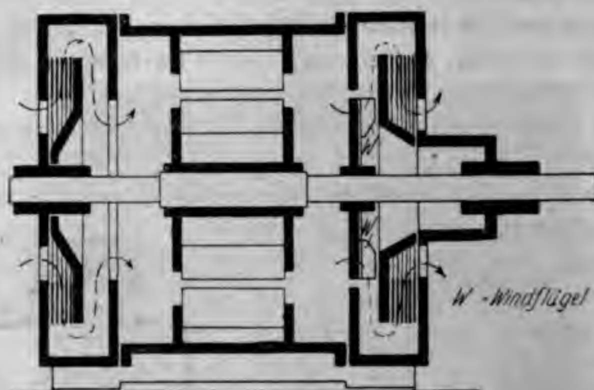


Fig. 49.



Fig. 50.

L'enveloppe était munie de plaques empilées à ses deux extrémités (*fig.* 49). Les plaques, au nombre de 42 de chaque côté, étaient en tôle de fer de $0^{mm},5$ d'épaisseur et de $690/790^{mm}$ de diamètre ; leur écartement était maintenu par 32 pièces intercalaires de $0^{mm},5$ d'épaisseur.

Elles étaient disposées pour pouvoir être facilement surveillées et changées (*fig.* 50).

Tous les défauts d'étanchéité de la carcasse avaient été soigneusement évités. Les portes du collecteur étaient dressées (*fig.* 51) et appliquées sans garniture ; les conducteurs passaient dans des presse-étoupes ; les traversées de l'arbre et

e ces presse-étoupes étaient très longues. Des soupapes étaient nfin disposées sur l'entrée d'air pour arrêter la perignition.

Les étincelles étaient provoquées soit par les balais, soit par n allumeur placé aux différents points où elles auraient eu possibilité de se produire. Un essai a été fait en charge pendant ne durée de quatre heures, dans des mélanges tenant depuis 1 2 jusqu'à 13 1/2 0/0 de grisou.

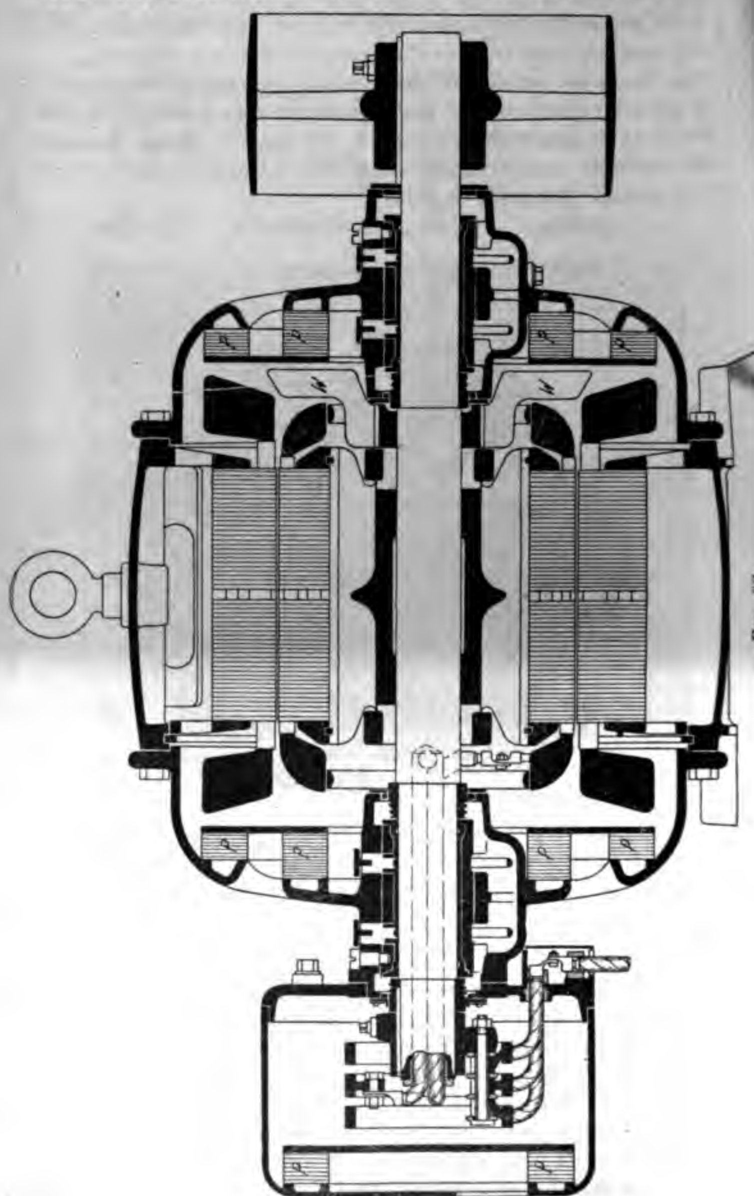


Fig. 31.

La température intérieure se trouvait portée à 50°, celle de la ...erie à 40°. Il a été également fait des essais avec poussières en résence d'un mélange grisouteux fort, d'autres en supprimant s soupapes. Tous ces essais ont été satisfaisants.

L'aération était excellente. La puissance du moteur était resque la même avec l'enveloppe que sans elle.

La pression la plus élevée a été trouvée de 1/10^{atm} avec le moteur en marche, de 1/20e au repos.



Elle suffisait dans tous les cas à rompre le fil qui maintenait les soupapes ouvertes.

On n'observa de perignition qu'une seule fois en marche, avec un mélange à 13 0/0 de grisou et les soupapes étant enlevées. Elle dura dix secondes et n'endommagea en rien le moteur. Au repos, on en eut plusieurs fois, la durée maxima fut de 6 secondes. Les soupapes n'étaient donc pas nécessaires.

Moteur triphasé de 30 HP, 500 volts, 970 tours, à collecteur en porte-à-faux dans une enveloppe distincte (*fig.* 52 à 54). — Les enveloppes étaient munies de paquets de plaques de tôle de 0mm,5, savoir :

Au moteur : 2	paquets de	34	plaques de	400/500mm	de diamètre
et 2	—	54	—	230/330	—
Au collecteur 1	—	140	—	230/330	—

La *fig.* 52 indique la disposition des plaques. Pour simplifier leur montage et en même temps pour allonger le circuit des gaz,



Fig. 53.

on avait fait ces plaques à rainures estampées, comme l'indique la *fig.* 53. Elles devaient ainsi se maintenir exactement à 0mm,5 d'intervalle.

L'aération était assurée par un ventilateur à ailettes.

Le fonctionnement du moteur était excellent, mais la protection ne fut pas suffisante.

On s'aperçut que les intervalles entre les plaques n'étaient pas réguliers, mais atteignaient par endroits 1 millimètre. On dut mettre des tôles planes ordinaires, qui sont représentées sur la *fig.* 54.

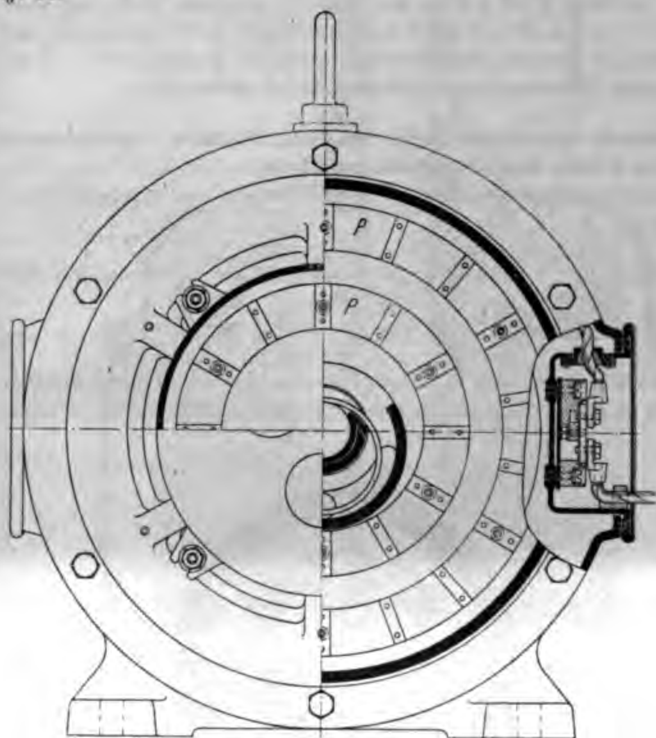


Fig. 54.

Tous les autres détails du moteur étaient particulièrement soignés. Les *fig.* 52 et 54 montrent les dispositifs de protection adoptés pour la traversée de l'arbre et des inducteurs.

Résumé des propriétés des plaques empilées. — On voit par ces premiers résultats que la protection par enveloppes à plaques empilées est susceptible, à condition d'y mettre le soin voulu, de donner d'excellents résultats.

Les propriétés se résument comme il suit :

Si l'on emploie des plaques de tôle de 0mm,5 d'épaisseur ninima, de 50mm de largeur minima suivant le parcours !u gaz, à 0mm,5 d'écartement maximum, et que le reste e l'enveloppe soit calculé pour résister à une certaine urpression, on peut réaliser une sécurité complète.

Celle-ci est indépendante en particulier de la contenance de l'enveloppe, de la section d'écoulement, laquelle st proportionnelle au nombre des plaques et à leur péri-ıètre intérieur, de la position du point d'inflammation, et e la disposition du mélange gazeux.

Plus l'orifice d'écoulement est grand, plus grand est effet refroidissant des plaques, plus faible la pression ue doit supporter l'enveloppe.

Les défauts d'étanchéité de l'enveloppe, autres que des ontes à larges bords, sont très dangereux.

La perignition est rare, et n'est de quelque durée u'avec une très forte ventilation artificielle. La sécurité e l'enveloppe n'en est pas influencée.

G. — La protection par immersion dans l'huile.

Il nous reste à mentionner un dispositif protecteur d'un ›rdre tout à fait différent des précédents, l'immersion lans l'huile.

Ce mode de protection n'est autre que celui déjà en usage pour un certain nombre d'appareils, interrupteurs, transformateurs, etc., dont il augmente la sûreté de fonctionnement. Employé dans les milieux grisouteux, il doit tout d'abord répondre à la condition que le niveau de l'huile ne permette pas aux étincelles ou aux pièces qui rougissent de se trouver exposées à l'air pendant le cours des manœuvres ou par suite des mouvements qui peuvent être imprimés aux appareils.

On s'est donc proposé de déterminer la couche d'huile

qui, au moment de la rupture d'un courant d'intensité donnée, suffit pour prévenir une explosion ; on a trouvé les chiffres suivants :

	ampères		ampères		millimètres au maximum	
Fusibles	de 20	fondant à	40-50,	couche d'huile	de 5,	pas d'explosion
			—		de 5 à 10,	explosion
—	40	—	120-200,	—	de 20,	pas d'explosion

mais des flammes ou étincelles s'échappant à l'extérieur.

Essais d'appareils à immersion dans l'huile. — Plusieurs appareils, essayés en 1903 avec peu de succès, avaient donné lieu à des constatations intéressantes, notamment sur le danger résultant d'une vaporisation de l'huile.

Le moteur n° 1, triphasé de 25 chevaux, 500 volts et 960 tours dont nous avons déjà parlé, avait à l'origine son collecteur tournant dans une boîte pleine d'huile, disposée de manière à ne pouvoir s'ouvrir qu'après avoir interrompu le courant ; les trois paires de balais de cuivre étaient placées sous les bagues (*fig.* 32).

A pleine charge, à l'air libre, la boîte vide d'huile s'échauffait très légèrement.

Dans les mêmes conditions, la boîte étant à demi remplie d'huile, après un fonctionnement de une demi-heure à pleine charge à l'air, puis de un quart d'heure dans le grisou, la tension tomba brusquement à 120 volts à la dynamo-frein. On constata que les bagues et les balais étaient en partie fondus et brûlés. La boite était pleine de vapeurs d'huile.

En disposant un carreau sur la plaque de fermeture, et poursuivant l'expérience à l'air, on observa alors des flammes sous l'huile même, et, au bout d'une minute à peine, une explosion de vapeurs d'huile se produisait, en même temps qu'il sortait une flamme rougeâtre de 50^{cm}.

La détérioration du collecteur et la forte vaporisation d'huile a paru provenir de ce qu'une lame d'huile se trouvait entraînée par les bagues et créait une résistance au passage du courant.

Un autre moteur triphasé, de 30 chevaux, 500 volts, 960 tours, à collecteur dans l'huile comme le précédent, fut expérimenté en 1904. La *fig.* 53 fait voir le niveau de l'huile à travers le verre placé sur la face antérieure de la boîte. Le collecteur était

trois paires de balais de cuivre. Même avec une mauvaise osition des balais et en démarrant en charge, il s'est toujours



Fig. 55.

ien comporté, quoiqu'il y eût entraînement d'huile par la tation des bagues.

Comme appareillage, nous citerons :

Un **transformateur à huile, de 4 kilowatts, 2080/115 volts,** ssayé en 1903 : le transformateur était placé dans une forte oîte en fonte à couvercle hermétique et entièrement plongé ans l'huile : au-dessus du niveau du liquide, la boîte fut remplie le mélange grisouteux; on fit passer un courant d'essai dans les nroulements, il atteignait 50 ampères dans l'enroulement à haute tension, 120 ampères dans celui à basse tension. L'huile bouillait et formait de l'écume, mais il n'y eut pas d'explosion.

Un **disjoncteur tripolaire à maxima de 100 ampères, 500 volts** (a de 1903) : les contacts étaient à 15 centimètres sous la surface de l'huile. Le fonctionnement à l'air ordinaire donnait lieu à des flammes rougeâtres dans l'huile, et des bulles d'huile vaporisée et inflammable se dégageaient : on n'a pas jugé utile d'expérimenter cet appareil dans le grisou.

Un **interrupteur tripolaire avec fusibles de 200 ampères,**

500 volts (*b* de 1903) : cet appareil, représenté par la *fig.* 56, comportait des boîtes de fusibles fixées au double couvercle de la caisse protectrice. La caisse étant fermée, elles plongeaient dans l'huile.



Fig. 56.

L'appareil fonctionna à plusieurs reprises avec succès, puis une explosion se produisit sur une rupture de courant : en mettant plus d'huile, l'appareil se comporta comme de sécurité, mais il était clair qu'en levant rapidement le couvercle on risquait d'entraîner l'huile et de provoquer une explosion.

Un **disjoncteur tripolaire à balais et bagues tournantes pour 100 ampères et 550 volts** (*c* de 1903) : cet appareil était à rupture brusque, accélérée par un ressort pour diminuer la durée de l'arc.

L'appareil étant expérimenté à l'air libre, après deux cents essais consécutifs, sous 120 ampères environ, on constata que les vapeurs d'huile qui se dégageaient étaient explosives, que les contacts à ressort étaient fortement brûlés et en partie fondus,

ue les bagues étaient aussi brûlées par places. La température
e l'huile n'avait pas sensiblement augmenté.

Ces essais ayant été continués en montant un manomètre sur
couvercle, on nota à la vingtième manœuvre une pression de
) millimètres de mercure, et à la vingt et unième une explosion
e vapeurs d'huile se produisit à l'intérieur, faisant jaillir à
extérieur, par le trou de 10 millimètres du manomètre, une
lamme rougeâtre de 20 centimètres ; le niveau de l'huile n'avait
as baissé.

Après trois cents nouvelles manœuvres recommencées dans
grisou se produisit encore une explosion ; l'appareil était mis
ors de service.

Un appareil similaire essayé avec des courants continus de
-90 ampères seulement crachait davantage et se détériora plus
e encore. Il donna une explosion intérieure après cinquante
sais.

Ni l'une ni l'autre de ces explosions ne se transmit au grisou
térieur, mais uniquement grâce à ce que la boîte constituait à
seule une enveloppe protectrice.



FIG. 57.

Un disjoncteur à huile, tripolaire pour 60 ampères et 500 volts
d de 1903) et un autre tripolaire du même genre, à contacts à
couteaux plongeant dans l'huile, essayés, l'un avec 120 ampères
deux cents fois de suite, l'autre avec 60-90 ampères cinq cents
fois, se comportèrent bien, malgré la surcharge, sans donner lieu
à des étincelles excessives et sans enflammer le grisou.

500 volts (*b* de 1903) : cet appareil, [...] **interrupteurs tripolaires** [...]on, **un démarreur à huile** portait des boîtes de fusibles [...] plongeaient dans l'huile, caisse protectrice. La caisse [...], se comportèrent bien. Tous l'huile. [...] dans l'huile.

[...] ressort de toutes ces expériences, [...] que l'on peut parfaitement obtenir la sécurité avec l'immersion dans l'huile, à condition d'établir assez largement les contacts et les parties conductrices de courant pour qu'il ne se produise pas de volatilisation de l'huile au cours du fonctionnement des appareils.

Il faut ajouter que, pour examiner si ces conditions sont réalisées, et pour faire l'essai pratique d'un appareil à immersion dans l'huile, point n'est besoin de recourir à une installation d'essais spéciale.

CONCLUSIONS.

Les expériences de M. Beyling ont permis de fixer les conditions de sécurité d'un certain nombre de dispositifs protecteurs des moteurs et de l'appareillage électriques en présence du grisou ou des poussières inflammables. Ce sont l'enveloppe close, l'enveloppe à tamis, l'enveloppe à plaques empilées qui combine de la façon la plus ingénieuse les avantages des deux premières, et l'immersion dans l'huile.

D'autres dispositifs, qui ont servi à guider l'auteur vers l'invention du paquet de plaques, les chicanes, les tubes, les brides, se sont montrés insuffisants ou inapplicables.

L'*enveloppe close* ne s'applique qu'aux appareils qui ne s'échauffent pas et ne demandent pas de ventilation. Elle doit être très résistante, donc lourde et chère, mais elle a l'avantage de protéger efficacement son contenu contre les causes de détérioration.

le métallique permet une très bonne ventilation, ·gère et bon marché. Malheureusement elle ne u'une résistance mécanique très faible et est llance et d'un entretien délicats. Les consé- la perignition peuvent y être dangereuses.

. *pile de plaques* donne la possibilité d'une ventilation mécanique. C'est un dispositif d'un prix plus élevé que l'enveloppe à tamis, mais il est beaucoup plus résistant et ne donne pas lieu à une perignition dangereuse.

L'*immersion dans l'huile* empêche le grisou de venir au contact des parties dangereuses, c'est la meilleure protection quand on peut l'employer.

Règles générales de construction. — Récapitulons les règles fondamentales auxquelles il convient de s'astreindre dans la *construction* de ces dispositifs :

RÈGLES COMMUNES (*immersion dans l'huile exceptée*). — Éviter les cloisonnements, surtout les compartiments qui communiquent par d'étroites ouvertures. Les chambres à huile des paliers ne rentrent pas dans cette catégorie.

Les surfaces d'appui des différentes pièces des enveloppes, des couvercles, portes et clapets doivent être larges et rabotées.

De préférence, ne pas mettre de garnitures (caoutchouc, amiante et autres matériaux peu consistants) dans les joints. Si l'on en fait usage, les disposer de manière qu'elles ne puissent être chassées par la pression.

Les arbres des moteurs et de commande doivent passer par des presse-étoupes suffisamment longs (50 millimètres au minimum) et solidement reliés à l'enveloppe protectrice.

Les traversées des conducteurs doivent être également longues et remplies d'un isolant fondu. Éviter les gaines de caoutchouc.

Dans les essais faits en 1904, des **interrupteurs tripolaires** (*fig.* 57), un **interrupteur à haute tension**, un **démarreur à huile** et un autre dont les résistances seules plongeaient dans l'huile, le reste étant protégé par boîte close, se comportèrent bien. Tous étaient profondément plongés dans l'huile.

Résumé. — Ce qui ressort de toutes ces expériences, c'est que l'on peut parfaitement obtenir la sécurité avec l'immersion dans l'huile, à condition d'établir assez largement les contacts et les parties conductrices de courant pour qu'il ne se produise pas de volatilisation de l'huile au cours du fonctionnement des appareils.

Il faut ajouter que, pour examiner si ces conditions sont réalisées, et pour faire l'essai pratique d'un appareil à immersion dans l'huile, point n'est besoin de recourir à une installation d'essais spéciale.

CONCLUSIONS.

Les expériences de M. Beyling ont permis de fixer les conditions de sécurité d'un certain nombre de dispositifs protecteurs des moteurs et de l'appareillage électriques en présence du grisou ou des poussières inflammables. Ce sont l'enveloppe close, l'enveloppe à tamis, l'enveloppe à plaques empilées qui combine de la façon la plus ingénieuse les avantages des deux premières, et l'immersion dans l'huile.

D'autres dispositifs, qui ont servi à guider l'auteur vers l'invention du paquet de plaques, les chicanes, les tubes, les brides, se sont montrés insuffisants ou inapplicables.

L'*enveloppe close* ne s'applique qu'aux appareils qui ne s'échauffent pas et ne demandent pas de ventilation. Elle doit être très résistante, donc lourde et chère, mais elle a l'avantage de protéger efficacement son contenu contre les causes de détérioration.

La *toile métallique* permet une très bonne ventilation, elle est légère et bon marché. Malheureusement elle ne présente qu'une résistance mécanique très faible et est d'une surveillance et d'un entretien délicats. Les conséquences de la perignition peuvent y être dangereuses.

La *pile de plaques* donne la possibilité d'une ventilation mécanique. C'est un dispositif d'un prix plus élevé que l'enveloppe à tamis, mais il est beaucoup plus résistant et ne donne pas lieu à une perignition dangereuse.

L'*immersion dans l'huile* empêche le grisou de venir au contact des parties dangereuses, c'est la meilleure protection quand on peut l'employer.

Règles générales de construction. — Récapitulons les règles fondamentales auxquelles il convient de s'astreindre dans la *construction* de ces dispositifs :

Règles communes (*immersion dans l'huile exceptée*). — Éviter les cloisonnements, surtout les compartiments qui communiquent par d'étroites ouvertures. Les chambres à huile des paliers ne rentrent pas dans cette catégorie.

Les surfaces d'appui des différentes pièces des enveloppes, des couvercles, portes et clapets doivent être larges et rabotées.

De préférence, ne pas mettre de garnitures (caoutchouc, amiante et autres matériaux peu consistants) dans les joints. Si l'on en fait usage, les disposer de manière qu'elles ne puissent être chassées par la pression.

Les arbres des moteurs et de commande doivent passer par des presse-étoupes suffisamment longs (50 millimètres au minimum) et solidement reliés à l'enveloppe protectrice.

Les traversées des conducteurs doivent être également longues et remplies d'un isolant fondu. Éviter les gaines de caoutchouc.

Les arbres creux doivent être remplis d'une masse isolante.

Toutes les vis doivent être disposées pour ne pas se desserrer en service et ne pas laisser se produire de fente.

Règles particulières. — **Enveloppes closes.** — L'enveloppe doit résister à une pression de 8 atmosphères. Éviter d'y percer des trous pour abaisser la pression.

Enveloppes à tamis. — Employer le tamis de 144 mailles au centimètre carré en fils de $0^{mm},35$ de diamètre. Éviter une plus grande ouverture des mailles ou une moindre grosseur des fils.

Le métal à employer est le bronze ou l'acier galvanisé.

La toile métallique doit être bien régulière, saine et sans défauts.

La surface cumulée des tamis doit être d'au moins 150 centimètres carrés par litre d'air contenu dans l'enveloppe.

Il doit y avoir au moins deux tamis l'un derrière l'autre, placés entre 5 et 20 millimètres d'écartement.

Les grandes surfaces de toile doivent être consolidées par des nervures.

Les toiles doivent être disposées sur panneaux amovibles, faciles à nettoyer et à changer.

Éviter avec soin tout défaut d'étanchéité de l'enveloppe.

Disposer les tamis de manière que les flammes de perignition ne puissent venir les lécher, ni des substances enflammées les détériorer ou passer au travers.

Ne pas luter les tamis, mais les tendre sur des châssis solides ou entre des châssis vissés.

Protéger les tamis contre les détériorations extérieures par une tôle perforée ou par un dispositif analogue.

Plaques empilées. — Employer des plaques de métal (anneaux de tôle) d'au moins 50 millimètres de largeur

et 0mm,5 d'épaisseur, les empiler à 0mm,5 d'intervalle maximum.

Faire avec soin l'empilage, de manière qu'aucune fente n'ait plus de 0mm,5 d'ouverture.

Comme métal, employer le bronze, le laiton, le fer-blanc ou galvanisé.

Éviter tout défaut d'étanchéité. Il ne doit y avoir d'autre communication entre l'intérieur et l'extérieur que par les plaques.

Pour éviter les surpressions, multiplier les plaques et faire leur diamètre intérieur aussi grand que possible. Si la surface totale offerte à l'issue des gaz est petite en regard du volume d'air intérieur, faire l'enveloppe en état de résister à plusieurs atmosphères.

Les piles de plaques doivent être amovibles, de manière à permettre de les surveiller et de les changer facilement.

Immersion dans l'huile. — Le niveau de l'huile doit être suffisant pour prévenir toute sortie d'étincelles hors du liquide.

On doit pouvoir reconnaître ce niveau sans avoir à ouvrir la boîte à huile.

Les contacts et les parties conductrices doivent être assez largement établis pour qu'il ne se produise pas une décomposition ou une volatilisation de l'huile au cours des manœuvres.

La boîte à huile doit être disposée de manière que, si l'appareil tout entier ou les organes de manœuvre sont exposés à un mouvement violent, on ait la certitude que les parties qui donnent lieu à des étincelles ne viendront pas à nu.

Si l'on craignait qu'il pût en être autrement, il faudrait placer tout l'appareil en boîte close de sûreté.

Règles d'entretien. — Il faut faire attention de main-

tenir les dispositifs protecteurs dans l'état dans lequel ils assurent la sécurité : tenir les toiles métalliques propres et sans défectuosités, protéger les piles de plaques de la poussière et de l'humidité, surveiller le niveau de l'huile. Les enveloppes closes sont naturellement celles qui exigent le moins de soins.

Il faut ajouter naturellement, tant pour la construction que pour l'installation et le fonctionnement des appareils et des moteurs, toutes les règles générales de sécurité qui conviennent aux emplois de l'électricité dans les travaux souterrains. On signalera notamment que les enveloppes ne doivent pas être trop petites, afin de permettre de faire facilement les montages et remplacements de pièces à l'intérieur. S'il y a lieu, elles porteront des regards d'observation en glace forte.

Choix du dispositif de sécurité. — On peut maintenant se prononcer en connaissance de cause sur le dispositif de sécurité à employer.

Pour les moteurs de très faible puissance (perforatrices, petites haveuses, etc.), on emploiera les enveloppes closes.

Pour les moteurs plus gros (ventilateurs, grandes haveuses, compresseurs, pompes, treuils), on séparera le collecteur du reste des moteurs. Le premier sera sous enveloppe close jusqu'à certaines dimensions, ensuite sous enveloppe à tamis ou piles de plaques. Le moteur lui-même sera sous enveloppes à plaques empilées.

Les règles qui précèdent n'ont été établies expérimentalement que jusqu'à 30 *chevaux*. Au delà d'une cinquantaine de chevaux, on ne peut guère songer à protéger d'autres organes que les collecteurs, et il n'y a qu'à placer les moteurs sur les entrées d'air.

Pour les appareils qui ne demandent pas de ventilation (interrupteurs, fusibles), on emploiera l'enveloppe close ou l'immersion dans l'huile.

Les plots et résistances de démarrage pourront être dans l'huile ; mais les résistances qui fonctionnent d'une façon permanente seront sous plaques empilées.

Quant aux transformateurs, on continuera de les mettre dans l'huile.

Ainsi donc les dangers qui ont fait écarter jusqu'à présent l'emploi des moteurs électriques dans les mines à grisou, et qui seraient peut-être aussi, pouvons-nous ajouter, de nature à en proscrire l'emploi dans les mines à poussières inflammables, peuvent être considérés comme surmontés. Malgré les échecs si déconcertants du début, les laborieuses et si ingénieuses recherches de M. Beyling ont atteint leur but et justifié une fois de plus le rôle technique si utile de ces institutions collectives allemandes, comme est la Caisse des Charbonnages westphaliens.

Juillet 1906.

INDEX.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ESPAGNE EN 1904 (*)

1° PRODUCTION DES CONCESSIONS.

SUBSTANCES MINÉRALES	CONCESSIONS en activité	OUVRIERS			MACHINES A VAPEUR		PRODUCTION	
		Hommes	Femmes	Enfants	Nombre	Force en chevaux	Poids	V sur
							tonnes	fr
Fer	595	27.977	113	1.278	256	5.170	7.964.748	42.
Fer argentifère	8	551	»	94	3	19	122.109	
Wolfram	9	122	24	»	»	»	60	
Pyrite de fer	1	647	»	15	10	443	161.841	
Pyrite arsenicale	3	95	»	»	»	»	3.510	
Amblygonite	1	52	4	4	»	»	90	
Terre alumineuse	16	20	8	2	»	»	925	
Plomb	202	7.672	145	648	173	5.914	93.230	10.
Plomb argentifère	221	10.664	363	615	274	11.074	177.104	27.
Zinc	106	2.623	317	101	30	510	156.329	6.
Argent	6	346	»	29	11	422	303	
Cuivre	386	11.729	272	319	49	1.993	2.646.126	42.
Etain	3	152	25	»	2	26	299	
Mercure	31	1.581	»	54	11	302	27.185	3.
Antimoine	3	55	38	12	1	6	245	
Manganèse	10	107	81	5	5	35	18.732	
Sel commun	51	1.097	97	71	17	149	543.658	3.
Substances salines	1	1	»	»	»	»	16	
Sulfate de baryte	5	9	»	»	»	»	453	
Argile	2	28	»	2	»	»	2.369	
Soufre	4	265	»	7	»	»	40.389	
Phosphore	6	140	14	14	»	»	3.505	
Kaolin	2	23	»	»	»	»	1.700	
Stéatite	1	41	»	1	1	25	5.165	
Houille	578	19.070	1.220	400	209	7.382	2.903.671	28.
Lignite	57	1.005	31	15	9	200	100.773	
Anthracite	7	625	18	49	12	619	119.096	1.
Roches asphaltiques	7	53	»	»	1	15	3.861	
Graphite	1	2	»	»	»	»	30	
Carbonate de magnésie	2	30	»	7	»	»	1.129	
Sulfate de soude	2	13	»	»	»	»	351	
Bismuth	1	8	»	»	»	»	4,6	
Cobalt	1	11	»	»	»	»	25	
Totaux	2.329	86.814	2.770	3.742	1.074	34.304	»	16

(*) *Extrait de la* « Estadistica minera de España » pour l'année 1904.

2° PRODUCTION DES USINES.

SUBSTANCES	PRODUCTION		NOMBRE des usines en activité	MACHINES EN ACTIVITÉ				OUVRIERS			MATIÈRES ÉLABORÉES
	Poids	Valeur à pied d'œuvre		Hydrauliques		A vapeur		Hommes	Femmes	Enfants	
				Nombre	Force en chevaux	Nombre	Force en chevaux				
	tonnes	francs									tonnes
Fonte	283.819	24.536.124									
Fer	43.287	10.526.475	21	35	2.440	346	32.726	11.340	247	493	804.274
Acier	186.705	24.217.994									
Plomb	127.804	41.267.636	12	1	8	39	779	1.845	7	108	?
Plomb argentifère	57.956	20.692.665	17	»	»	25	609	1.122	»	51	?
Argent fin... (en kilogrammes)	117.418	15.369.165	2	4	72	»	»	29	»	»	135
Cuivre noir	37.166	43.660.306	7	»	»	35	1.658	3.145	85	108	1.980.800
Zinc en lingots	5.887	4.120.900	1	»	»	13	134	642	6	12	14.815
Zinc laminé	2.913	2.621.700	9	2	6	4	33	728	2	16	23.863
Mercure	1.130	7.662.258									
Soufre fondu	605	48.400	1	»	»	»	»	44	»	6	?
Ciment hydraulique	286.737	4.805.703	54	32	729	30	1.431	1.149	13	42	?
Agglomérés de houille	307.630	6.564.165	11	»	»	14	560	369	»	44	301.177
Coke	432.726	12.888.828	13	»	»	4	80	259	»	13	549.502
Asphalte	3.463	166.860	4	1	30	2	45	46	»	»	2.548
Totaux	»	219.149 179	152	75	3.285	512	38.055	20.718	360	893	»

PRODUCTION D'OR DE L'ILE DE FORMOSE.

L'or a été obtenu dans l'île de Formose, d'une faço
lière, depuis le xv[e] siècle, mais particulièrement par l
tion en placers. Depuis la cession de l'île au Japon,
l'entreprise des mines a été mise sur un pied réguli
opérations systématiques sur les filons de quartz ont
gées avec un capital suffisant et des installations mode

La production pendant les cinq dernières années est
dans le tableau ci-après :

	QUANTITÉS			
	EXPLOITATION		TOTAUX	
Années	du quartz Onces	en placers Onces	Onces	Kilo
1901......	18.735	15.409	34.144	1.0
1902......	27.893	20.424	48.317	1.5
1903......	29.605	9.239	38.844	1.2
1904......	48.342	5.126	53.468	1.6
1905 (*)...	62.730	3.447	66.177	2.0

En 1898, les mines ne produisaient que 1.331 onces : o
à ce que d'ici à quelques années l'île produise plus qu
Japon, dont la production en 1905 est évaluée à 95.1
correspondant à environ 2.960 kilogr., soit, à 3.400 fran
gramme, une valeur de 10.064.000 francs.

(*Extrait d'un* Rapport *adressé à* M. le Ministre d
étrangères *par* M. Clavery, Consul de Franc
sion.)

(*) Résultats provisoires.

LES
CHEMINS DE FER AMÉRICAINS
MATÉRIEL ET TRACTION

Par M. Marcel JAPIOT, Ingénieur au Corps des Mines.

Au cours de deux voyages en Amérique, en 1905 et 1906, nous avons eu l'occasion d'étudier les *services du matériel et de la traction* sur un grand nombre de réseaux de chemins de fer aux États-Unis, et sur le plus important des réseaux canadiens, le *Canadian Pacific Ry* (*).

Vu la brièveté de nos séjours en Amérique, surtout en raison de l'immense étendue du territoire, il nous a naturellement été impossible de songer à faire un travail d'ensemble sur un aussi vaste sujet ; nous nous sommes borné à réunir sous forme de notes les documents que nous avons recueillis sur place.

Il serait trop long de citer ici les noms des *Superintendents of Motive Power* et des *Mechanical Engineers* à

(*) Le *Canadian Pacific Ry* exploitait, en 1905, plus de 13.000 kilomètres de lignes sur un total de 31.000 kilomètres existant au Canada (la même Compagnie possède d'ailleurs des services de paquebots reliant les terminus de sa grande ligne transcontinentale à l'Angleterre d'une part, et au Japon de l'autre). Cette prépondérance pourrait disparaître à bref délai : déjà, on a commencé la construction de la ligne transcontinentale du *Grand Trunk Pacific Ry* ; de son côté, le *Great Northern Ry*, avec la continuité de vues qui caractérise cette Compagnie, développe d'une façon progressive ses « extensions » en territoire canadien, et a même entrepris une nouvelle ligne entre Winnipeg et le Pacifique. D'autres projets de lignes sont sérieusement étudiés, et il est probable que le réseau canadien va se développer avec une rapidité et dans des proportions considérables.

l'obligeance desquels nous avons eu recours durant ces deux voyages pour nous procurer tous ces renseignements, — mais nous sommes heureux de pouvoir signaler l'excellent accueil que nous avons toujours reçu des ingénieurs du *Motive Power Department* sur les nombreux réseaux que nous avons visités.

De plus, par la bienveillance qu'ils nous ont témoignée, M. Stuyvesant Fish, président de l'*American Railway Association* et de l'*Illinois Central R. R.*, et M. James J. Hill, président du *Great Northern Ry*, du *Northern Pacific R. R.*, du *Chicago Burlington and Quincy Rd*, de la *Great Northern Steamship C°*, etc., ont largement contribué à rendre notre mission facile, intéressante et agréable.

PREMIÈRE PARTIE.

LOCOMOTIVES (*).

Dans ces notes, nous désignerons les divers *types de locomotives* au moyen de la ***notation américaine***, dans laquelle A-B-C représente une locomotive à B roues couplées, précédées de A roues porteuses à l'avant et suivies de C roues porteuses à l'arrière. Par exemple, 4-4-2 désigne le type connu sous le nom de type Atlantic.

Cette méthode présente un très léger défaut : il eût mieux valu faire figurer dans la formule le nombre d'*essieux* que le nombre de *roues* : lorsqu'on regarde une locomotive, on n'aperçoit qu'une roue de chaque essieu, de sorte que la notation 2-2-1 serait plus « représentative » que la formule 4-4-2. Mais la notation américaine

(*) Nous laisserons complètement de côté la traction électrique, dont l'étude nécessiterait à elle seule un mémoire spécial.

est déjà trop répandue pour qu'on puisse la modifier. Elle est d'ailleurs bien supérieure aux autres, parce qu'elle permet de représenter sans confusion possible tous les types de locomotives que l'on construit actuellement. La notation allemande, par exemple, donne lieu à des confusions : elle consiste à représenter chaque type par une fraction dont le numérateur est le nombre d'essieux couplés, et le dénominateur le nombre total d'essieux ; par exemple :

4-4-2 s'énonce 2/5
4-6-0 s'énonce 3/5
2-8-0 s'énonce 4/5

On voit immédiatement que, dans ce système, le type 2-6-2, si répandu en Amérique, s'énonce 3/5 comme le type 4-6-0 : cette notation est donc à rejeter.

Pour les locomotives-tenders, nous emploierons les mêmes formules que pour les machines à tender séparé, mais en les faisant précéder de la lettre T.

C'est seulement pour les locomotives articulées qu'il convient de modifier la notation américaine, parce qu'elle n'est ni logique ni générale : pour une machine du système Mallet à 6 essieux couplés en 2 groupes de 3, les Américains ont adopté la notation 0-6-6-0 ; d'après cela, il est impossible de désigner une machine telle que le type 6121 du *Nord*, qui possède des essieux porteurs entre les groupes d'essieux couplés. On obtient, au contraire, une méthode générale en notant séparément chaque groupe d'essieux montés sur le même châssis, comme s'ils constituaient une machine distincte : dans ce système, la locomotive Mallet américaine s'écrira (0-6-0)-(0-6-0), et la machine 6121 Nord (0-6-2)-(2-6-0).

On sait qu'aux États-Unis les principaux types de locomotives sont connus sous des noms spéciaux : nous en donnons la liste à titre de renseignement ; mais nous trouvons moins compliqué de désigner les types par des nota-

tions figurant la disposition des essieux, plutôt que par des noms qu'on est obligé de traduire en formule lorsqu'on n'est pas accoutumé à leur emploi.

Types 2-n-0 :	2-6-0	Mogul
	2-8-0	Consolidation
	2-10-0	Decapod
Types 2-n-2 :	2-4-2	Columbia
	2-6-2	Prairie
	2-8-2	Mikado
	2-10-2	Santa-Fé
Types 4-n-0 :	4-4-0	American (eight wheel)
	4-6-0	ten wheel
	4-8-0	Mastodon (twelve wheel)
Types 4-n-2 :	4-4-2	Atlantic
	4-6-2	Pacific

Les autres types n'ont pas de noms spéciaux ; signalons cependant que les machines de triage sans essieux porteurs sont parfois désignées sous les noms suivants :

Types 0-n-0 (triage) :	0-6-0	six wheel switcher
	0-8-0	eight wheel switcher
	0-10-0	ten wheel switcher

I.

CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES.

Un très petit nombre de réseaux construisent eux-mêmes leurs locomotives : le *Pennsylvania R. R.*, le *Canadian Pacific Ry* et le *Chicago Milwaukee and Saint Paul Ry* en construisent une partie. En dehors de ces quelques cas, toutes les locomotives américaines sortent des ateliers de deux compagnies : *Burnham, Williams and Co*, possédant les ateliers *Baldwin* à *Philadelphia* (Pa.), et l'*American Locomotive Co*, dont le siège social est à *New-York*.

Les *ateliers Baldwin* ont été fondés en 1831 par ıthias W. Baldwin, puis exploités par différentes ciétés : la raison sociale actuelle date de 1873. En hors des ateliers situés au centre même de Philadelphie, tte société possède diverses annexes qui ont dû être éées en dehors de la ville. En 1905, les ateliers aldwin ont livré 2.250 locomotives. Leur plus gros ient est le *Pennsylvania R. R.*

Les principaux ateliers de l'*American Locomotive C°* nt ceux de *Schenectady* (N. Y.), fondés en 1848 ; cette tallation a été considérablement agrandie, et les modiıtions entreprises récemment ne sont pas encore terıées à l'heure actuelle. La proximité des ateliers de la *neral Electric C°*, situés également à Schenectady, met à ces deux sociétés, dont les intérêts sont d'ailrs plus ou moins confondus, d'entreprendre en comn la construction de locomotives électriques de grande ssance. Dans ces dernières années, pour pouvoir conrencer plus efficacement les ateliers Baldwin, *merican Locomotive C°* a racheté successivement ıs les autres ateliers de construction de locomotives stant en Amérique. La liste des établissements de la iété s'établit ainsi :

Schenectady Works........	Schenectady (N.Y.)	1848
Brooks Works..............	Dunkirk (N.Y.)	1869
Pittsburgh Works..........	Alleghany (Pa.)	1865
Rogers Works..............	Paterson (N.J.)	»
Richmond Works...........	Richmond (Va.)	1887
Cooke Works...............	Paterson (N.J.)	1852
Rhode Island Works........	Providence (R.I.)	1866
Dickson Works.............	Scranton (Pa.)	1856
Manchester Works..........	Manchester (N.H.)	1854
Locomotive and Machine C°.	Montréal (Canada)	»

De cette façon, il ne reste plus en présence, sur le rché américain, que les ateliers Baldwin et l'American

Locomotive C°. Cette dernière peut produire, dans l'ensemble de ses usines, environ autant de locomotives que les ateliers Baldwin. Le principal client des divers établissements de l'American Locomotive C° est le réseau des *New York Central Lines*, l'atelier de Schenectady fournissant toutes les locomotives du *New York Central and Hudson River R. R.*, et les Brooks Works approvisionnant le *Lake Shore and Michigan Southern Ry*.

On conçoit facilement combien cette « concentration » de la construction des locomotives tend à en unifier les détails.

Nous allons passer en revue les différentes parties de la locomotive, en insistant seulement sur celles dont la construction est traitée d'une façon particulière en Amérique.

Corps cylindrique. — On sait que les ingénieurs américains emploient beaucoup la chaudière à virole conique dite *wagon top* ou « extended wagon top ». Cette disposition a l'avantage de donner un grand réservoir de vapeur, et de surélever le dôme, de façon à prendre la vapeur plus sèche ; le poids de la chaudière est alors concentré davantage sur les essieux moteurs. Néanmoins on emploie maintenant de plus en plus la chaudière purement cylindrique, dite *straight top*. Les avis sont très partagés à ce sujet : le *Pennsylvania R. R.* n'emploie que des chaudières « wagon top », tandis que toutes les machines du *New York Central and Hudson River R. R.*, ainsi que celles des *Harriman Lines* (*), ont des chaudières « straight top ». Sur les autres réseaux, on peut dire qu'en général les chaudières dont la virole AV a moins d

(*) Ce groupe comprend les réseaux de l'Union Pacific, du Southern Pacific, du Chicago and Alton Ry, de l'Oregon Short Line et de l'Oregon Railroad and Navigation C°.

1^m,800 sont du type « wagon top », et plus de 1^m,800, du type « straight top ».

Boîte à feu. — On trouve en Amérique deux types de boîte à feu : l'un dérive du type *Belpaire* modifié de façon à l'adapter aux foyers à grille large ; l'autre est à ciel arrondi et à entretoisement radial (*radial stay fire box*). La boîte à feu Belpaire a été abandonnée par plusieurs réseaux qui lui reprochent son prix de construction plus élevé ; cependant toutes les locomotives récentes du *Pennsylvania R. R.* et du *Great Northern Ry* possèdent ce type de boîte à feu : avec la disposition Belpaire, on éviterait plus facilement les fuites aux entretoises sur les machines à pression élevée.

Il faut signaler l'importance que l'on attache à ménager de *larges lames d'eau* entre le foyer et la boîte à feu : on comprend qu'on les réduise sur les boîtes à feu étroites, pour avoir une grille aussi large que possible ; mais, avec les foyers débordant par-dessus les roues du dernier essieu, on peut donner aux lames d'eau toute l'épaisseur désirable. On y trouve un double avantage : d'une part, on accroît la circulation d'eau entre les tôles du foyer et de la boîte à feu, ce qui donne une vaporisation plus active et prolonge la vie du foyer ; d'autre part, on augmente la longueur et la flexibilité des entretoises, ce qui diminue leurs chances de rupture : on a constaté, en effet, que, sur certains foyers, il était impossible d'éviter les fissures des tôles, les ruptures d'entretoises et les fuites autour de ces dernières, — et que ces inconvénients ont presque complètement disparu lorsqu'on a augmenté l'épaisseur des lames d'eau. Actuellement cette épaisseur est, en général, de 127 millimètres au cadre de foyer, et croît jusqu'à 140 millimètres ou 152^{mm},5 à la hauteur du ciel.

La chaudière est construite en tôles d'acier : ces tôles

Locomotive C°. Cette dernière peut pr... ...es avant semble de ses usines, environ autant ... . réseau à les ateliers Baldwin. Le principal ... escrit de se blissements de l'American Loc... nposition sui- des *New York Central Lines* fournissant toutes les locom... *and Hudson River R. R.* ... sionnant le *Lake Shore* ...

On conçoit facilem... de la construction d... détails.

Nous allons ... : 1° si leur épaisseur présente la locomotiv... ...ant 4 à 10 p. 100 (suivant l'épais- constructi... ..., — 2° si la résistance est inférieure à Amériqu... ...millimètre carré sur des éprouvettes de forme ...*née*, ou si, la résistance étant supérieure à ... *kilogrammes* par millimètre carré, l'allongement est *inférieur* à 30 p. 100 ; — 3° si l'analyse chimique donne *l'un des* résultats suivants :

C > 0,25 p. 100
C < 0,15
Mn > 0,45
Si > 0,03
P > 0,035
S > 0,035
Cu > 0,05

Foyer. — Les foyers de locomotives américaines sont toujours construits en tôles d'acier. Avec la boîte à feu Belpaire, on emploie des foyers à ciel plan; avec la boîte à feu « radial stay », le ciel de foyer est le plus souvent cintré. Dans tous les cas, le foyer est composé de trois tôles : la plaque AR, la plaque tubulaire, et une troisième tôle formant le ciel et les flancs. Cette dernière est généralement travaillée par cintrage à froid, comme les tôles du corps cylindrique ; les deux autres sont embouties à

resse hydraulique (comme les plaques AV et AR
u), au moyen de matrices en fonte qui
emple, d'un seul coup la plaque AR, de
uée, avec les portes de foyer (il y en
) et les raccords des flancs et du ciel.
our tôles de foyer sont légèrement
s tôles du reste de la chaudière.
sous les analyses chimiques
Rock Island and Pacific Ry,
audière et boite à feu d'un côté, et
yer de l'autre :

	Chaudière	Foyer
Mn..............	< 0,45	< 0,45
Mn..............	> 0,30	> 0,30
Si..............	< 0,02	< 0,02
P..............	< 0,05	< 0,03
S..............	< 0,035	< 0,03

Le *foyer à grille large*, débordant par-dessus les roues de l'essieu AR, est devenu en Amérique la règle générale. Lorsque les roues de cet essieu sont de faible diamètre, cette disposition ne présente guère que des avantages ; mais, lorsque leur diamètre dépasse $1^m,600$, on est conduit à réduire beaucoup trop la profondeur du foyer à l'avant ; on arrive ainsi à ne placer la grille que 20 à 30 centimètres au-dessous de la génératrice inférieure du corps cylindrique. Ces foyers peu profonds (« shallow fire-box ») présentent plusieurs inconvénients : on ne peut y brûler que du charbon très maigre, sans quoi les flammes détériorent rapidement la plaque tubulaire et les rangées inférieures de tubes ; il est également impossible de charger le charbon en couche épaisse ; de plus, avec les eaux incrustantes, les dépôts qui se forment dans la lame d'eau AV arrivent rapidement à la combler, et atteignent les rangées inférieures des tubes : toute cette partie est alors portée à une température élevée, ce qui

sont soumises à des essais chimiques et mécaniques avant réception ; les spécifications varient peu d'un réseau à l'autre. Au *Baltimore and Ohio R.R.*, on prescrit de se rapprocher autant que possible de la composition suivante :

C = 0,18 p. 100
Mn < 0,40
Si < 0,02
P < 0,03
S < 0,03
Cu < 0,03

Les tôles sont refusées : 1° si leur épaisseur présente des variations dépassant 4 à 10 p. 100 (suivant l'épaisseur demandée) ; — 2° si la résistance est inférieure à 38^{kg},8 par millimètre carré sur des éprouvettes de forme déterminée, ou si, la résistance étant supérieure à 46 kilogrammes par millimètre carré, l'allongement est inférieur à 30 p. 100 ; — 3° si l'analyse chimique donne l'un des résultats suivants :

C > 0,25 p. 100
C < 0,15
Mn > 0,45
Si > 0,03
P > 0,035
S > 0,035
Cu > 0,05

Foyer. — Les foyers de locomotives américaines sont toujours construits en tôles d'acier. Avec la boîte à feu Belpaire, on emploie des foyers à ciel plan ; avec la boîte à feu « radial stay », le ciel de foyer est le plus souvent cintré. Dans tous les cas, le foyer est composé de trois tôles : la plaque AR, la plaque tubulaire, et une troisième tôle formant le ciel et les flancs. Cette dernière est généralement travaillée par cintrage à froid, comme les tôles du corps cylindrique ; les deux autres sont embouties à

chaud, à la presse hydraulique (comme les plaques A' et AR de boîte à feu), au moyen de matrices en fonte qui donnent, par exemple, d'un seul coup la plaque AR, de forme très compliquée, avec les portes de foyer (il y en a généralement deux) et les raccords des flancs et du ciel.

Les spécifications pour tôles de foyer sont légèrement plus sévères que pour les tôles du reste de la chaudière. Nous rapprochons ci-dessous les analyses chimiques requises par le *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, pour les tôles de chaudière et boîte à feu d'un côté, et les tôles du foyer de l'autre :

	Chaudière	Foyer
Mn	< 0,45	< 0,45
Mn	> 0,30	> 0,30
Si	< 0,02	< 0,02
P	< 0,05	< 0,03
S	< 0,035	< 0,03

Le *foyer à grille large*, débordant par-dessus les roues de l'essieu AR, est devenu en Amérique la règle générale. Lorsque les roues de cet essieu sont de faible diamètre, cette disposition ne présente guère que des avantages ; mais, lorsque leur diamètre dépasse 1^{m},600, on est conduit à réduire beaucoup trop la profondeur du foyer à l'avant ; on arrive ainsi à ne placer la grille que 20 à 30 centimètres au-dessous de la génératrice inférieure du corps cylindrique. Ces foyers peu profonds (« shallow fire-box ») présentent plusieurs inconvénients : on ne peut y brûler que du charbon très maigre, sans quoi les flammes détériorent rapidement la plaque tubulaire et les rangées inférieures de tubes ; il est également impossible de charger le charbon en couche épaisse ; de plus, avec les eaux incrustantes, les dépôts qui se forment dans la lame d'eau A' arrivent rapidement à la combler, et atteignent les rangées inférieures des tubes : toute cette partie est alors portée à une température élevée, ce qui

amène des fuites et nécessite de fréquentes réparations, ainsi que le remplacement de la plaque tubulaire au bout d'un service de courte durée. Pour cette raison, on emploie encore, le plus souvent, le foyer étroit sur les machines des types 4-4-0 et 4-6-0 à grandes roues motrices : le foyer descend alors entre les roues, mais non pas entre les longerons, à cause de leur trop grande épaisseur.

Seul, le *Chicago Milwaukee and St Paul Ry* a conservé le foyer à grille étroite même sur les machines 4-6-0 à roues de faible diamètre, destinées au service des marchandises. Ce réseau a même adopté le foyer étroit pour une machine du type 4-6-2 qu'il a construite à titre d'essai en 1905. M. Manchester, « superintendent of motive power » de ladite compagnie, déclare qu'avec du combustible de bonne qualité, renfermant une quantité suffisante de matières volatiles, la grille étroite est bien supérieure, parce qu'elle permet d'employer un foyer très profond, donnant une combustion bien plus complète : dès que le combustible est médiocre, la grille large est indispensable.

Les foyers peu profonds et à large grille atteignent leur maximum de développement dans le type *Wootten* (*fig.* 1) adopté sur les locomotives qui brûlent de l'anthracite (*). Sur les dernières machines 2-8-0 du *Delaware and Hudson*, la grille a les dimensions suivantes :

Largeur :	2m,920
Longueur :	3m,225
Surface :	9m²,400

Sur les locomotives à anthracite, on est obligé d'em-

(*) Les réseaux dont les locomotives ne brûlent que de l'anthracite sont : le Philadelphia and Reading R. R., le Delaware Lackawanna and Western R. R., le Central Railroad of New Jersey, le Delaware and Hudson, le Lehigh Valley R. R.

ployer le foyer à grille débordante, quel que soit le type de la machine. Il est alors impossible de placer l'abri du mécanicien à l'arrière, parce que le foyer occupe presque toute la largeur du gabarit; l'abri est donc placé sur le milieu du corps cylindrique, et le mécanicien se trouve ainsi séparé du chauffeur.

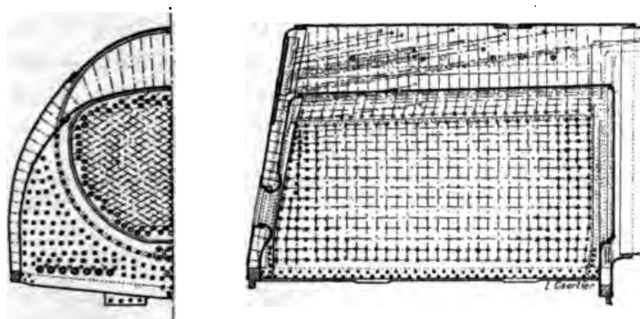


FIG. 1. — Foyer Wootten pour locomotive à anthracite type 2-8-0 du D. & H.

En dehors de la voûte en briques dont nous parlerons plus loin, différents dispositifs ont été employés pour améliorer la combustion dans les foyers brûlant du charbon gras.

Nous signalerons d'abord la disposition que nous avons notée sur les machines du *Chicago Milwaukee and St Paul Ry*, et que l'on retrouve d'ailleurs sur d'autres réseaux : le foyer possède des *entrées d'air* au-dessus de la grille pour assurer une combustion plus complète. Ces entrées d'air sont au nombre de 8 : 3 sur chaque flanc, et 2 sur la face AR. Ce sont de petits tubes d'acier de 4 centimètres de diamètre intérieur, reliant la tôle de boîte à feu à celle du fôyer, à environ 25 à 30 centimètres au-dessus du cadre. Ces prises d'air servent également de *fumivore* dans la traversée des villes : il suffit pour cela d'y placer un petit ajutage au moyen duquel on y envoie

un jet de vapeur formant éjecteur et entraînant dans le foyer un grand excès d'air.

Le *Northern Pacific R. R.* a mis en service, en 1905, une locomotive dont le foyer possède une *chambre de combustion* dont le dessin est dû à Mr. Van Alstyne, « mechanical superintendent » de ce réseau. Cette chambre est formée par un prolongement du foyer à l'intérieur du corps cylindrique, de $0^{m},915$ de long : les tubes sont donc plus courts que sur les machines similaires munies de foyers ordinaires. La comparaison entre les deux types de chaudières s'établit ainsi :

	CHAUDIÈRE ORDINAIRE	CHAUDIÈRE MODIFIÉE
Nombre de tubes	374	374
Longueur des tubes	$5^{m},950$	$5^{m},030$
Diamètre extérieur des tubes	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$
Surface de chauffe du foyer	$19^{m2},75$ (*)	$18^{m2},80$ (*)
— — de la chambre	»	$5^{m2},65$
— — directe totale	$19^{m2},75$	$24^{m2},45$
— — des tubes	359^{m2}	$303^{m2},50$
— — totale	$378^{m2},75$	$327^{m2},95$
Surface de grille	$4^{m2},30$	$4^{m2},30$

(*) Y compris $0^{m2},85$ de tubes d'eau dans le foyer.

Après une expérience d'une année, Mr. Van Alstyne formulé les conclusions suivantes : 1° malgré une réduc-tion de $50^{m2},80$ dans la surface de chauffe totale (soi 13.4 p. 100), la machine à chambre de combustion pro-duit autant de vapeur que les autres, ce qui prouve que la puissance de vaporisation des $4^{m2},70$ de surface de chauffe directe supplémentaire qu'elle possède est équi-valente à celle des $55^{m2},50$ de tubes supprimés; — 2° la réduction du nombre des fuites à la tubulure sur la ma-chine à chambre de combustion est extrêmement remar-quable ; cette locomotive a été placée sur des sections où les eaux sont très incrustantes, et l'on n'a eu à relever en un an qu'une seule fuite importante, alors que

les autres machines en ont eu un bien plus grand nombre. En conséquence, il a été décidé de monter des chambres de combustion identiques sur 70 nouvelles locomotives des types 2-6-2, 4-6-2 et 2-8-2, qui doivent être livrées, en 1907, au *Northern Pacific R. R.* par l'American Locomotive C°.

Nous signalerons aussi les précautions prises pour éviter les fissures qui se produisent fréquemment dans les emboutis raccordant la plaque tubulaire à la tôle des flancs et du ciel. Au *New York Central and Hudson River R. R.*, on a porté le rayon de ces emboutis de 6^{mm},3 (rayon intérieur) à 50^{mm},8, et, en conséquence, on a éloigné du bord de la plaque les rangées extrêmes de tubes : de cette façon on est arrivé à éviter presque complètement les fissures, très fréquentes auparavant.

Quant aux fissures qui se produisent dans la plaque tubulaire d'un trou à l'autre, on les évite en réduisant le nombre des tubes (devenu excessif sur quelques machines américaines, au point de gêner considérablement le dégagement de la vapeur) : cette réduction permet d'augmenter la largeur des intervalles pleins de la plaque tubulaire : sur quelques réseaux, leur épaisseur a été portée à 22^{mm},2 et même 25^{mm},4.

Le *cadre de foyer* est généralement en fer forgé : on exige alors que les soudures soient faites à une certaine distance des angles du cadre ; sur quelques réseaux, on emploie des cadres en acier moulé.

Entretoises. — Les entretoises sont toujours faites en *fer fibreux* au moyen de machines automatiques, et percées d'un trou suivant leur longueur, de façon que la rupture d'une entretoise en service soit décelée par un jet de vapeur(*). Leurs dimensions varient peu : pour les flancs

(*) Beaucoup d'ingénieurs expriment d'ailleurs des doutes sérieux sur l'efficacité de ce système.

tions figurant la disposition des essieux, plutôt que par des noms qu'on est obligé de traduire en formule lorsqu'on n'est pas accoutumé à leur emploi.

Types 2-n-0 :	2-6-0	Mogul
	2-8-0	Consolidation
	2-10-0	Decapod
Types 2-n-2 :	2-4-2	Columbia
	2-6-2	Prairie
	2-8-2	Mikado
	2-10-2	Santa-Fé
Types 4-n-0 :	4-4-0	American (eight wheel)
	4-6-0	ten wheel
	4-8-0	Mastodon (twelve wheel)
Types 4-n-2 :	4-4-2	Atlantic
	4-6-2	Pacific

Les autres types n'ont pas de noms spéciaux ; signalons cependant que les machines de triage sans essieux porteurs sont parfois désignées sous les noms suivants :

Types 0-n-0 (triage) :	0-6-0	six wheel switcher
	0-8-0	eight wheel switcher
	0-10-0	ten wheel switcher

I.

CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES.

Un très petit nombre de réseaux construisent eux-mêmes leurs locomotives : le *Pennsylvania R. R.*, le *Canadian Pacific Ry* et le *Chicago Milwaukee and Saint Paul Ry* en construisent une partie. En dehors de ces quelques cas, toutes les locomotives américaines sortent des ateliers de deux compagnies : *Burnham, Williams and Co*, possédant les ateliers *Baldwin* à *Philadelphia* (Pa.), et l'*American Locomotive Co*, dont le siège social est à *New-York*.

Les *ateliers Baldwin* ont été fondés en 1831 par Mathias W. Baldwin, puis exploités par différentes sociétés : la raison sociale actuelle date de 1873. En dehors des ateliers situés au centre même de Philadelphie, cette société possède diverses annexes qui ont dû être créées en dehors de la ville. En 1905, les ateliers Baldwin ont livré 2.250 locomotives. Leur plus gros client est le *Pennsylvania R. R.*

Les principaux ateliers de l'*American Locomotive C°* sont ceux de *Schenectady* (N. Y.), fondés en 1848 ; cette installation a été considérablement agrandie, et les modifications entreprises récemment ne sont pas encore terminées à l'heure actuelle. La proximité des ateliers de la *General Electric C°*, situés également à Schenectady, permet à ces deux sociétés, dont les intérêts sont d'ailleurs plus ou moins confondus, d'entreprendre en commun la construction de locomotives électriques de grande puissance. Dans ces dernières années, pour pouvoir concurrencer plus efficacement les ateliers Baldwin, l'*American Locomotive C°* a racheté successivement tous les autres ateliers de construction de locomotives existant en Amérique. La liste des établissements de la société s'établit ainsi :

Schenectady Works........	Schenectady (N.Y.)	1848
Brooks Works..............	Dunkirk (N.Y.)	1869
Pittsburgh Works..........	Alleghany (Pa.)	1865
Rogers Works..............	Paterson (N.J.)	»
Richmond Works...........	Richmond (Va.)	1887
Cooke Works...............	Paterson (N.J.)	1852
Rhode Island Works........	Providence (R.I.)	1866
Dickson Works.............	Scranton (Pa.)	1856
Manchester Works..........	Manchester (N.H.)	1854
Locomotive and Machine C°.	Montréal (Canada)	»

De cette façon, il ne reste plus en présence, sur le marché américain, que les ateliers Baldwin et l'American

Locomotive C°. Cette dernière peut produire, dans l'ensemble de ses usines, environ autant de locomotives que les ateliers Baldwin. Le principal client des divers établissements de l'American Locomotive C° est le réseau des *New York Central Lines*, l'atelier de Schenectady fournissant toutes les locomotives du *New York Central and Hudson River R. R.*, et les Brooks Works approvisionnant le *Lake Shore and Michigan Southern Ry*.

On conçoit facilement combien cette « concentration » de la construction des locomotives tend à en unifier les détails.

Nous allons passer en revue les différentes parties de la locomotive, en insistant seulement sur celles dont la construction est traitée d'une façon particulière en Amérique.

Corps cylindrique. — On sait que les ingénieurs américains emploient beaucoup la chaudière à virole conique dite *wagon top* ou « extended wagon top ». Cette disposition a l'avantage de donner un grand réservoir de vapeur, et de surélever le dôme, de façon à prendre de la vapeur plus sèche; le poids de la chaudière est alors concentré davantage sur les essieux moteurs. Néanmoins on emploie maintenant de plus en plus la chaudière purement cylindrique, dite *straight top*. Les avis sont très partagés à ce sujet : le *Pennsylvania R. R.* n'emploie que des chaudières « wagon top », tandis que toutes les machines du *New York Central and Hudson River R. R.*, ainsi que celles des *Harriman Lines* (*), ont des chaudières « straight top ». Sur les autres réseaux, on peut dire qu'en général les chaudières dont la virole *N* a moins de

(*) Ce groupe comprend les réseaux de l'Union Pacific, du Southern Pacific, du Chicago and Alton Ry, de l'Oregon Short Line et de l'Oregon Railroad and Navigation C°.

1^m,800 sont du type « wagon top », et plus de 1^m,800, du type « straight top ».

Boîte à feu. — On trouve en Amérique deux types de boite à feu : l'un dérive du type *Belpaire* modifié de façon à l'adapter aux foyers à grille large ; l'autre est à ciel arrondi et à entretoisement radial (*radial stay fire box*). La boite à feu Belpaire a été abandonnée par plusieurs réseaux qui lui reprochent son prix de construction plus élevé ; cependant toutes les locomotives récentes du *Pennsylvania R. R.* et du *Great Northern Ry* possèdent ce type de boite à feu : avec la disposition Belpaire, on éviterait plus facilement les fuites aux entretoises sur les machines à pression élevée.

Il faut signaler l'importance que l'on attache à ménager des *larges lames d'eau* entre le foyer et la boite à feu : on comprend qu'on les réduise sur les boîtes à feu étroites, pour avoir une grille aussi large que possible ; mais, avec les foyers débordant par-dessus les roues du dernier essieu, on peut donner aux lames d'eau toute l'épaisseur désirable. On y trouve un double avantage : d'une part, on accroît la circulation d'eau entre les tôles du foyer et de la boite à feu, ce qui donne une vaporisation plus active et prolonge la vie du foyer ; d'autre part, on augmente la longueur et la flexibilité des entretoises, ce qui diminue leurs chances de rupture : on a constaté, en effet, que, sur certains foyers, il était impossible d'éviter les fissures des tôles, les ruptures d'entretoises et les fuites autour de ces dernières, — et que ces inconvénients ont presque complètement disparu lorsqu'on a augmenté l'épaisseur des lames d'eau. Actuellement cette épaisseur est, en général, de 127 millimètres au cadre de foyer, et croît jusqu'à 140 millimètres ou 152^{mm},5 à la hauteur du ciel.

La chaudière est construite en tôles d'acier : ces tôles

sont soumises à des essais chimiques et mécaniques avant réception ; les spécifications varient peu d'un réseau à l'autre. Au *Baltimore and Ohio R. R.*, on prescrit de se rapprocher autant que possible de la composition suivante :

C = 0,18 p. 100
Mn < 0,40
Si < 0,02
P < 0,03
S < 0,03
Cu < 0,03

Les tôles sont refusées : 1° si leur épaisseur présente des variations dépassant 4 à 10 p. 100 (suivant l'épaisseur demandée) ; — 2° si la résistance est inférieure à 38^{kg},8 par millimètre carré sur des éprouvettes de forme déterminée, ou si, la résistance étant supérieure à 46 kilogrammes par millimètre carré, l'allongement est inférieur à 30 p. 100 ; — 3° si l'analyse chimique donne l'un des résultats suivants :

C > 0,25 p. 100
C < 0,15
Mn > 0,45
Si > 0,03
P > 0,035
S > 0,035
Cu > 0,05

Foyer. — Les foyers de locomotives américaines sont toujours construits en tôles d'acier. Avec la boîte à feu Belpaire, on emploie des foyers à ciel plan ; avec la boîte à feu « radial stay », le ciel de foyer est le plus souvent cintré. Dans tous les cas, le foyer est composé de trois tôles : la plaque AR, la plaque tubulaire, et une troisième tôle formant le ciel et les flancs. Cette dernière est généralement travaillée par cintrage à froid, comme les tôles du corps cylindrique ; les deux autres sont embouties

chaud, à la presse hydraulique (comme les plaques AV et AR de boîte à feu), au moyen de matrices en fonte qui donnent, par exemple, d'un seul coup la plaque AR, de forme très compliquée, avec les portes de foyer (il y en a généralement deux) et les raccords des flancs et du ciel.

Les spécifications pour tôles de foyer sont légèrement plus sévères que pour les tôles du reste de la chaudière. Nous rapprochons ci-dessous les analyses chimiques requises par le *Chicago Rock Island and Pacific R*^{y}, pour les tôles de chaudière et boîte à feu d'un côté, et les tôles du foyer de l'autre :

	Chaudière	Foyer
Mn	< 0,45	< 0,45
Mn	> 0,30	> 0,30
Si	< 0,02	< 0,02
P	< 0,05	< 0,03
S	< 0,035	< 0,03

Le *foyer à grille large*, débordant par-dessus les roues de l'essieu AR, est devenu en Amérique la règle générale. Lorsque les roues de cet essieu sont de faible diamètre, cette disposition ne présente guère que des avantages ; mais, lorsque leur diamètre dépasse $1^{m},600$, on est conduit à réduire beaucoup trop la profondeur du foyer à l'avant ; on arrive ainsi à ne placer la grille que 20 à 30 centimètres au-dessous de la génératrice inférieure du corps cylindrique. Ces foyers peu profonds (« shallow fire-box ») présentent plusieurs inconvénients : on ne peut y brûler que du charbon très maigre, sans quoi les flammes détériorent rapidement la plaque tubulaire et les rangées inférieures de tubes ; il est également impossible de charger le charbon en couche épaisse ; de plus, avec les eaux incrustantes, les dépôts qui se forment dans la lame d'eau AV arrivent rapidement à la combler, et atteignent les rangées inférieures des tubes : toute cette partie est alors portée à une température élevée, ce qui

amène des fuites et nécessite de fréquentes réparations, ainsi que le remplacement de la plaque tubulaire au bout d'un service de courte durée. Pour cette raison, on emploie encore, le plus souvent, le foyer étroit sur les machines des types 4-4-0 et 4-6-0 à grandes roues motrices : le foyer descend alors entre les roues, mais non pas entre les longerons, à cause de leur trop grande épaisseur.

Seul, le *Chicago Milwaukee and St Paul Ry* a conservé le foyer à grille étroite même sur les machines 4-6-0 à roues de faible diamètre, destinées au service des marchandises. Ce réseau a même adopté le foyer étroit pour une machine du type 4-6-2 qu'il a construite à titre d'essai en 1905. M. Manchester, « superintendent of motive power » de ladite compagnie, déclare qu'avec du combustible de bonne qualité, renfermant une quantité suffisante de matières volatiles, la grille étroite est bien supérieure, parce qu'elle permet d'employer un foyer très profond, donnant une combustion bien plus complète : dès que le combustible est médiocre, la grille large est indispensable.

Les foyers peu profonds et à large grille atteignent leur maximum de développement dans le type *Wootten* (*fig.* 1) adopté sur les locomotives qui brûlent de l'anthracite (*). Sur les dernières machines 2-8-0 du *Delaware and Hudson*, la grille a les dimensions suivantes :

Largeur :	$2^{m},920$
Longueur :	$3^{m},225$
Surface :	$9^{m2},400$

Sur les locomotives à anthracite, on est obligé d'em-

(*) Les réseaux dont les locomotives ne brûlent que de l'anthracite sont : le Philadelphia and Reading R. R., le Delaware Lackawanna and Western R. R., le Central Railroad of New Jersey, le Delaware and Hudson, le Lehigh Valley R. R.

ployer le foyer à grille débordante, quel que soit le type de la machine. Il est alors impossible de placer l'abri du mécanicien à l'arrière, parce que le foyer occupe presque toute la largeur du gabarit; l'abri est donc placé sur le milieu du corps cylindrique, et le mécanicien se trouve ainsi séparé du chauffeur.

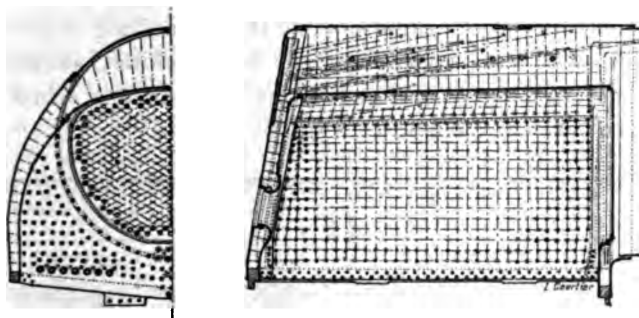


Fig. 1. — Foyer Wootten pour locomotive à anthracite type 2-8-0 du D. & H.

En dehors de la voûte en briques dont nous parlerons plus loin, différents dispositifs ont été employés pour améliorer la combustion dans les foyers brûlant du charbon gras.

Nous signalerons d'abord la disposition que nous avons notée sur les machines du *Chicago Milwaukee and St Paul Ry*, et que l'on retrouve d'ailleurs sur d'autres réseaux : le foyer possède des *entrées d'air* au-dessus de la grille pour assurer une combustion plus complète. Ces entrées d'air sont au nombre de 8 : 3 sur chaque flanc, et 2 sur la face AR. Ce sont de petits tubes d'acier de 4 centimètres de diamètre intérieur, reliant la tôle de boîte à feu à celle du fôyer, à environ 25 à 30 centimètres au-dessus du cadre. Ces prises d'air servent également de *fumivore* dans la traversée des villes : il suffit pour cela d'y placer un petit ajutage au moyen duquel on y envoie

un jet de vapeur formant éjecteur et entraînant dans le foyer un grand excès d'air.

Le *Northern Pacific R. R.* a mis en service, en 1905, une locomotive dont le foyer possède une *chambre de combustion* dont le dessin est dû à Mr. Van Alstyne, « mechanical superintendent » de ce réseau. Cette chambre est formée par un prolongement du foyer à l'intérieur du corps cylindrique, de $0^m,915$ de long : les tubes sont donc plus courts que sur les machines similaires munies de foyers ordinaires. La comparaison entre les deux types de chaudières s'établit ainsi :

	CHAUDIÈRE ORDINAIRE	CHAUDIÈRE MODIFIÉE
Nombre de tubes	374	374
Longueur des tubes	$5^m,950$	$5^m,030$
Diamètre extérieur des tubes	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$
Surface de chauffe du foyer	$19^{m2},75$ (*)	$18^{m2},80$ (*)
— — de la chambre	»	$5^{m2},65$
— — directe totale	$19^{m2},75$	$24^{m2},45$
— — des tubes	359^{m2}	$303^{m2},50$
— — totale	$378^{m2},75$	$327^{m2},95$
Surface de grille	$4^{m2},30$	$4^{m2},30$

(*) Y compris $0^{m2},85$ de tubes d'eau dans le foyer.

Après une expérience d'une année, Mr. Van Alstyne formulé les conclusions suivantes : 1° malgré une réduction de $50^{m2},80$ dans la surface de chauffe totale (soit 13,4 p. 100), la machine à chambre de combustion produit autant de vapeur que les autres, ce qui prouve que la puissance de vaporisation des $4^{m2},70$ de surface de chauffe directe supplémentaire qu'elle possède est équivalente à celle des $55^{m2},50$ de tubes supprimés ; — 2° la réduction du nombre des fuites à la tubulure sur la machine à chambre de combustion est extrêmement remarquable ; cette locomotive a été placée sur des sections où les eaux sont très incrustantes, et l'on n'a eu à relever en un an qu'une seule fuite importante, alors que

les autres machines en ont eu un bien plus grand nombre. En conséquence, il a été décidé de monter des chambres de combustion identiques sur 70 nouvelles locomotives des types 2-6-2, 4-6-2 et 2-8-2, qui doivent être livrées, en 1907, au *Northern Pacific R. R.* par l'American Locomotive C°.

Nous signalerons aussi les précautions prises pour éviter les fissures qui se produisent fréquemment dans les emboutis raccordant la plaque tubulaire à la tôle des flancs et du ciel. Au *New York Central and Hudson River R. R.*, on a porté le rayon de ces emboutis de 6mm,3 (rayon intérieur) à 50mm,8, et, en conséquence, on a éloigné du bord de la plaque les rangées extrêmes de tubes : de cette façon on est arrivé à éviter presque complètement les fissures, très fréquentes auparavant.

Quant aux fissures qui se produisent dans la plaque tubulaire d'un trou à l'autre, on les évite en réduisant le nombre des tubes (devenu excessif sur quelques machines américaines, au point de gêner considérablement le dégagement de la vapeur) : cette réduction permet d'augmenter la largeur des intervalles pleins de la plaque tubulaire : sur quelques réseaux, leur épaisseur a été portée à 22mm.2 et même 25mm.4.

Le *cadre de foyer* est généralement en fer forgé : on exige alors que les soudures soient faites à une certaine distance des angles du cadre ; sur quelques réseaux, on emploie des cadres en acier moulé.

Entretoises. — Les entretoises sont toujours faites en *fer fibreux* au moyen de machines automatiques, et percées d'un trou suivant leur longueur, de façon que la rupture d'une entretoise en service soit décelée par un jet de vapeur (*). Leurs dimensions varient peu : pour les flancs

(*) Beaucoup d'ingénieurs expriment d'ailleurs des doutes sérieux sur l'efficacité de ce système.

et les tôles A et B, on emploie des entretoises de 22mm1/4 à 25mm,4 de diamètre, espacées de 76 à 95 millimètres; pour le ciel du foyer, le diamètre est plus fort, par exemple 28mm1/2. Au *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, on exige une résistance comprise entre 34 kilogrammes et 38 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement supérieur à 28 p. 100. Au *Baltimore and Ohio Ry* la résistance doit être comprise entre 32kg,4 et 36 kilogrammes par millimètre carré, et l'allongement requis est fonction de cette résistance:

de 32kg,4 à 33kg,2, allongement > 30 p. 100
de 33kg,2 à 33kg,8, allongement > 29 p. 100
de 33kg,8 à 34kg,5, allongement > 28 p. 100
de 34kg,5 à 36kg , allongement > 27 p. 100

De plus, les entretoises sont toujours soumises à un essai spécial, dit « essai vibratoire », au moyen d'une machine *ad hoc* : on encastre les extrémités des entretoises dans deux pièces laissant une longueur libre de 152mm,5 ; l'une de ces pièces est fixée à un dynamomètre qui doit indiquer une tension de 170 kilogrammes par centimètre carré de section de l'entretoise ; l'autre pièce est animée d'un mouvement de translation autour de l'axe de l'entretoise, de façon que son centre décrive un cercle de 1mm,6 de rayon. L'entretoise doit supporter un nombre minimum de « vibrations » (on appelle ainsi les révolutions du support de la pièce mobile) avant de se rompre ; ce nombre est variable avec le diamètre de l'entretoise :

Diamètre	22mm,2 :	3.000 vibrations
—	25mm,4 :	2.200 —
—	27mm,0 :	1.500 —

La question la plus à l'ordre du jour en Amérique, au point de vue de l'amélioration du foyer, est celle des *entretoises flexibles*. Cette question a donné lieu à de

longues discussions au XXXIXe Congrès de la *Master Mechanics' Association*, tenu en juin 1906 à Atlantic City : nous allons résumer les différentes opinions émises sur ce sujet.

Parmi les divers types d'entretoises flexibles expérimentés en Amérique, quatre seulement l'ont été avec une extension suffisante pour qu'on puisse les juger (*fig.* 2). Dans ces quatre types, la tête extérieure de l'entretoise est placée dans une bague en acier vissée dans la tôle de la boite à feu, et sur cette bague est vissé un écrou à chapeau destiné à assurer l'étanchéité du système; l'entretoise est fixée dans la tôle du foyer comme à l'ordinaire.

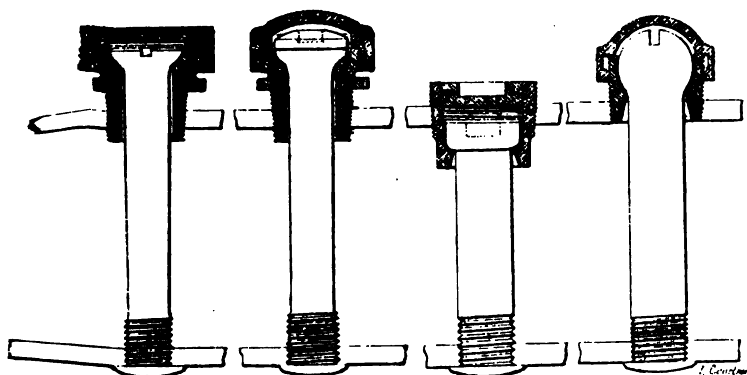


Fig. 2. — Entretoises flexibles.

Dans le premier type, on avait ménagé une rainure dans la tête de l'entretoise afin de pouvoir visser celle-ci dans la tôle du foyer; mais cette disposition a provoqué de nombreuses ruptures de la tête de l'entretoise. On a alors imaginé un deuxième type, très analogue, où la tête est renforcée et porte un évidement de section carrée qui sert à visser l'entretoise dans la tôle du foyer. Ces deux types ont l'inconvénient de posséder un espace vide assez

important autour de l'entretoise, à l'intérieur de la bague avec des eaux incrustantes, ce logement est rapidement rempli par un dépôt compact, de sorte que l'entretoise perd complètement sa flexibilité. Dans le troisième type on a réduit cette cavité au minimum en plaçant la surface d'appui de la tête d'entretoise aussi près que possible de l'extrémité de la bague, et en évasant l'intérieur de celle-ci. Enfin, dans le quatrième type, on a réalisé une plus grande flexibilité, jointe à une plus grande résistance, en adoptant une tête sphérique; de plus, la bague ne pénètre plus à l'intérieur de la lame d'eau, et, par suite, est moins exposée à recueillir les dépôts de matières incrustantes.

Les endroits où il convient d'appliquer des entretoises flexibles sont ceux où les entretoises rigides donnent lieu à des ruptures et à des fuites, ce qui indique l'existence de déplacements relatifs de la tôle du foyer et de celle de la boîte à feu. Bien que ces emplacements varient beaucoup avec les types de foyer, on peut dire qu'en général, avec les foyers à grille large, les ruptures et les fuites sont surtout localisées aux angles supérieurs des flancs et à la partie de la plaque tubulaire avoisinant les rangées inférieures de tubes. On a constaté sur plusieurs réseaux (notamment au *Pennsylvania R. R.*) que les fuites et les ruptures disparaissaient en grande partie, ou même complètement, par l'emploi d'entretoises flexibles dans ces régions seulement, le reste du foyer comportant des entretoises rigides comme auparavant. Souvent on emploie également des entretoises flexibles pour les rangées inférieures placées près du cadre du foyer, dont la rigidité donne lieu à des dilatations très irrégulières pour les tôles au contact. Sur d'autres réseaux, on a même mis à l'essai des foyers équipés entièrement avec des entretoises flexibles; au *Wabash R. R.*, on a essayé les entretoises flexibles pour éviter les fissures qui se produisaient

dans les tôles des flancs du foyer, au raccordement avec la plaque tubulaire : par ce moyen, la durée des tôles a pu être portée de 11 mois à 3 ans en moyenne.

En général, avec des eaux peu incrustantes et des entretoises flexibles d'un dessin convenable, les ruptures sont rares. C'est ainsi qu'au *Chesapeake and Ohio R. R.*, sur 15.000 à 16.000 entretoises flexibles appliquées depuis trois ans sur 210 locomotives, on en a retiré seulement 22 en 1906 : ce sont les premières qui aient été reconnues brisées; elles sont d'ailleurs du premier type décrit plus haut, et dont il a été appliqué 2.500 : tout le reste est composé d'entretoises du quatrième type, qui n'ont donné lieu jusqu'ici à aucun incident. Au contraire, sur des réseaux où les eaux sont très incrustantes, les résultats sont moins favorables.

On reproche, d'ailleurs, à tous les types d'entretoises flexibles expérimentés, la difficulté (on pourrait même dire l'impossibilité pratique) que l'on rencontre à déceler leurs fissures ou leurs ruptures. En effet, pour procéder à l'essai au marteau, il est nécessaire de démonter le chapeau, ce qui le met, le plus souvent, hors d'usage. Il conviendrait donc de rechercher un type d'entretoise flexible ne possédant pas cet inconvénient.

Voûte en briques et tubes d'eau dans le foyer. — Certains réseaux placent dans le foyer une voûte en briques, suivant une pratique fréquemment adoptée en Europe. Mais, à cause de la largeur du foyer des machines américaines, on est obligé de disposer des supports intermédiaires pour la voûte, les appuis sur les flancs du foyer étant insuffisants. Ces supports sont constitués par des tubes où circule l'eau de la chaudière.

C'est surtout au *New York Central and Hudson River R. R.* que cette pratique s'est répandue. D'après M. Whyte, « mechanical engineer » de ce réseau, la voûte

important autour de l'entret[illegible] tubes d'eau (« arch
avec des eaux incrustant[illegible] combustible d'environ
rempli par un dépôt com[illegible]ement entre la voûte et
perd complètement sa fl[illegible]stion plus complète, et
on a réduit cette cavi[illegible]ent des foyers peu pro-
face d'appui de la [illegible] le siège d'une vaporisa-
sible de l'extrémité [illegible]aison assure une circulation
de celle-ci. Enfin, [illegible] de la boîte à feu.
une plus grande [illegible] par le *New York Central and*
résistance, en [illegible] presque toutes ses machines.
bague ne péné[illegible]e de grandes briques plates
par suite, est [illegible] de 76 millimètres de diamètre.
matières iner[illegible]ères machines 2-8-0, ces tubes
Les end[illegible] de chauffe de 2^{m2},48 (Pl. XII,
flexibles [illegible] la lame d'eau N au-dessous du
à des ru[illegible] tubes d'eau aboutissent à la lame
de dép[illegible] le cadre de la porte du foyer. Ces
de la [illegible]ués dans les tôles de foyer à la
beau[illegible] la chaudière dans la plaque tubulaire
gén[illegible] en face des extrémités de chaque tube
fo[illegible] à feu est percée d'un trou, avec bouchon
[illegible] pouvoir nettoyer l'intérieur des tubes. L[illegible]
[illegible] recouvre que la moitié N de ce cadre
[illegible] On met actuellement à l'essai des voûtes com-
[illegible] briques dont la longueur égale la demi-
[illegible] : la voûte peut alors être supportée au
[illegible] tube de 101^{mm},6 de diamètre, placé dans
[illegible] du foyer, et sur lequel viennent se
[illegible] briques formant des arches en deux voussoirs
[illegible]

[illegible] R. R., on a, au contraire, renoncé
[illegible] briques avec tubes d'eau, parce qu'on a
[illegible] trop coûteux.

[illegible] — Ainsi que nous l'avons dit, la *grille large* est

. ...érale sur les machines américaines. La dispo- ...a grille est alors commandée par celle des roues ...u .R. Lorsque c'est un essieu porteur à roues de ... diamètre, on emploie généralement une grille ...ontale. Au contraire, sur les machines 4-6-0 ou 2-8-0 ...oues de 1m,60 par exemple, une grille horizontale ne ...donnerait au foyer qu'une profondeur très insuffisante; on emploie alors deux dispositions : le plus souvent, la partie .R de la grille, située au-dessus des roues du dernier essieu, est horizontale, et la grille s'incline entre les deux derniers essieux, de façon à augmenter la profondeur du foyer à l'avant; sur certains réseaux, on a reproché à cette grille brisée, entre autres inconvénients, de donner un feu manquant d'homogénéité, parce que la couche de combustible est généralement moins épaisse à l'endroit de la brisure que sur les autres points de la grille; on renonce alors à placer horizontalement la partie .R, et on la dispose dans le même plan incliné que la partie A' (cette disposition a notamment remplacé la précédente sur les derniers types de machines 2-8-0 du *New York Central and Hudson River R. R.*).

Généralement les barreaux de grille sont du type « à doigts » (« finger grate »), et souvent ils sont munis d'un dispositif permettant de les faire basculer pour briser les mâchefers (*).

Notons enfin que l'on fait souvent déboucher dans le cendrir les tuyaux de décharge des injecteurs de la machine afin d'éteindre les mâchefers.

Chargement mécanique du foyer. — Dans la traction des lourds trains de marchandises sur les rampes, le service du chauffeur américain est devenu particulièrement pénible;

(*) On retrouve cette disposition sur certaines machines du P.-O., série 5001, type 2-8-0.

il n'est pas rare de relever des consommations de 70 à 80 kilogrammes de charbon par kilomètre. Sur la machine Mallet du *Baltimore and Ohio R. R.*, dont nous parlerons plus loin, la consommation de charbon par kilomètre ressort en moyenne à 140 kilogrammes ou même 150 kilogrammes : nous avons constaté, en accompagnant cette machine, que, pendant un parcours durant 1h 10 à 1h 20, le chauffeur ne cessait pas un instant de charger du combustible sur la grille : le foyer possède deux portes coulissant sur des glissières horizontales, et le chauffeur charge alternativement par chacune d'elles, en fermant la porte pendant qu'il remplit sa pelle, sans quoi il y aurait constamment une des deux portes d'ouverte.

Malgré ces consommations élevées, on ne songe pas en Amérique à placer deux chauffeurs sur la même machine; mais on conçoit que les ingénieurs de ce pays aient cherché, pour répondre aux besoins d'augmentation de puissance qui se produiront dans l'avenir, à réaliser un dispositif de chargement mécanique du foyer. De nombreux systèmes ont été expérimentés.

Celui qui a donné lieu aux essais les plus suivis est le chargeur *Victor;* cet appareil ne supprime pas complètement l'intervention du chauffeur, car celui-ci doit prendre le charbon dans le tender pour en approvisionner une trémie qui le distribue au chargeur. De la trémie, le charbon tombe sur une tôle placée devant la porte du foyer, et prolongée à l'intérieur de celui-ci; sur cette tôle se déplace un râteau mû par un piston à vapeur, qui envoie le charbon sur la grille. Le piston actionne sa propre distribution afin de produire le retour en arrière de l'appareil; de plus, il provoque la manœuvre de la porte du foyer à chaque mouvement du râteau. Un régulateur permet de faire varier le nombre de coups de piston dans un temps donné; mais l'amplitude du mouvement reste fixe. La partie de la tôle qui pénètre à l'inté-

rieur du foyer possède une forme spéciale, de façon à répartir le charbon sur toute la grille : naturellement cette tôle distributrice, constamment placée dans les flammes du foyer, ne peut avoir une existence prolongée. L'avantage de ce type de chargeur (et des appareils analogues) est de pouvoir fonctionner avec une grosseur quelconque de charbon et, en particulier, avec du tout-venant, qui est le combustible le plus employé en Amérique.

On a imaginé un autre système complètement automatique, supprimant le travail du chauffeur (tandis que l'appareil précédent se bornait à le réduire, dans une proportion considérable, il est vrai), mais ne pouvant fonctionner qu'avec du menu : des chaines à godets prennent le charbon dans le tender et le conduisent à une trémie distributrice, d'où il tombe librement sur une tôle placée devant la porte du foyer. Sur cette tôle sont placées plusieurs tuyères à vapeur, de directions divergentes, qui envoient le charbon aux divers points de la grille.

Bien que certains appareils du premier type aient onctionné d'une façon satisfaisante, notamment sur le éseau des *Big-Four*, le comité désigné par le Congrès e 1905 de la « Master Mechanics' Association », pour udier ce sujet, a conclu en 1906 qu'on ne pouvait encore as être fixé, à l'heure actuelle, sur la résistance de ces pareils, ni sur les frais d'entretien qu'ils nécessitent n service.

Tubulure. — Les tubes des machines américaines sont n fer; on emploie généralement des tubes de $50^{mm},8$ 2 pouces) de diamètre extérieur lorsque leur longueur st inférieure à 5 mètres, et de 57 millimètres (2 pouces 1/4) orsqu'elle est supérieure à 5 mètres. Les tubes de grande ongueur sont d'un emploi courant en Amérique; sur les nachines du type 4-6-2, ils ont généralement $6^{m},100$, et tteignent exceptionnellement $6^{m},400$ sur les machines

Mallet du *Baltimore and Ohio R. R.* et du *Great Northern Ry*, et sur les locomotives 4-6-2 du *Chicago Burlington and Quincy Ry*. Les trous de la plaque tubulaire AV ont un diamètre supérieur de 3mm,2 à celui des tubes; quant aux trous de la plaque tubulaire AR, ils ont le même diamètre que le tube, ou un diamètre inférieur de 3mm,2; dans tous les cas, le tube est rétreint à son extrémité AR, puisqu'on place des bagues dans les trous de la plaque tubulaire du foyer, comme nous l'expliquerons plus loin.

Dans la plaque tubulaire de boîte à fumée, les tubes sont simplement mandrinés au moyen d'un outil conique. Pour la plaque tubulaire du foyer, on interpose entre le tube et la plaque une bague en cuivre rouge (à 99,5 p. 100 de Cu) de 1mm,6 d'épaisseur, destinée à assurer l'étanchéité du joint. Pour des plaques tubulaires AR de 12mm,7 d'épaisseur (dimension généralement adoptée), on donne à la bague une longueur de 15mm,9, de façon qu'elle dépasse à l'intérieur du corps cylindrique, en formant un bourrelet qui s'écrase autour du tube lors du dudgeonnage. Au *Chicago Burlington and Quincy Ry*, on a récemment porté la longueur des bagues à 25mm,4, et l'on a constaté que les fuites à la tubulure étaient moins fréquentes avec ces bagues allongées qu'avec les bagues ordinaires.

Les tubes, préalablement rétreints d'une quantité convenable, sont d'abord mandrinés afin d'écraser la bague. On emploie dans ce but un mandrin spécial, dit « Prosser expander », dont le dessin varie peu d'un réseau à l'autre. Celui du *Pittsburgh and Lake Erie R. R.* est composé de 5 secteurs (*fig.* 3) maintenus par une lame d'acier formant ressort : on fait pénétrer à l'intérieur une aiguille conique (*). Au moyen d'un second mandrin très ana-

(*) Sur d'autres réseaux, notamment au *Lake Shore and Michigan*

logue, on rabat contre la plaque tubulaire les bords du tube dépassant à l'intérieur du foyer. Ensuite on dudgeonne le tube au moyen d'un appareil à galets, d'un type

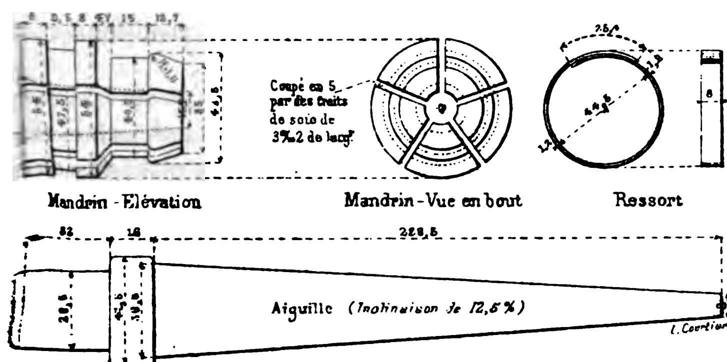


Fig. 3. — Prosser expander.

analogue à ceux qui sont usités en Europe. Enfin, on achève d'appliquer contre la plaque tubulaire les bords du

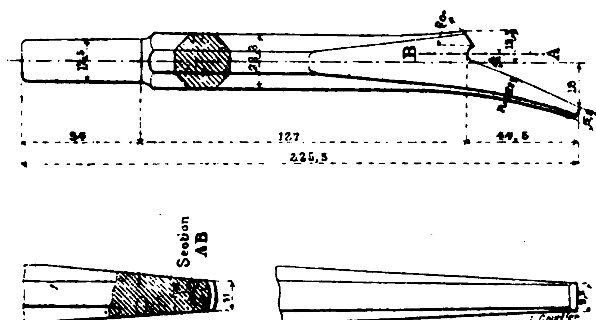


Fig. 4. — Bending tool.

tube rabattus précédemment au moyen d'un outil dit « beading tool » (*fig.* 4), comportant deux branches iné-

Southern Ry, le mandrin se compose de huit secteurs maintenus par une bague en caoutchouc, et l'on y enfonce une aiguille à section octogonale.

gales réunies par un arrondi de rayon variable suivant l'épaisseur des tubes : la grande branche, que l'on place à l'intérieur du tube, est dessinée de façon à empêcher l'ouvrier de détériorer la plaque tubulaire avec la petite branche, en limitant l'inclinaison que l'on peut donner à l'outil.

Soupapes. — En observant les machines américaines en service, on constate que les soupapes se lèvent brusquement et se referment avec la même netteté au bout d'un temps très court (dix à quinze secondes, par exemple); ceci prouve qu'elles ont une sensibilité remarquable et un grand débit.

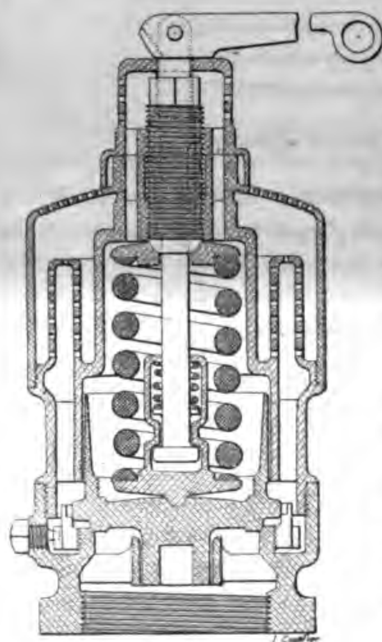


Fig. 5. — Soupape de sûreté de la Coale Muffler and Safety Valve Cº.

Au *Pennsylvania R. R.*, où l'on emploie les soupapes de la « Coale Muffler and Safety Valve Cº » (*fig.* 5), [illegible] nous a donné les chiffres suivants: pour une chaudière timbrée à 13^{kg},0[illegible] par centimètre carré, première soupape est réglée pour se lever [illegible] 13^{kg},050 et se referme quand la pression est tombée à 12^{kg},700; deuxième soupape se lève à 13^{kg},400 lorsque la première ne suffit pas à débiter tout le surplus de vapeur, et se referme à 13^{kg},050. On cherche actuellement à resserrer ces limites.

., sur les nouvelles machines, la première soupape se vant à 13kg,050 se refermera à 12kg,850, tandis que la ›conde se lèvera à 13kg,250 pour se refermer à 13kg,050.
Les soupapes sont toujours renfermées dans des enve›ppes perforées jouant le rôle de « silencieux ».

Boîte à fumée. — La plupart des réseaux américains ont dopté un type de boîte à fumée *self cleaning*, c'est-à-ire à vidange automatique : l'arrangement intérieur est ›l que toutes les escarbilles soient rejetées par la cheinée au lieu de s'accumuler dans la boîte à fumée.

Nous décrirons, par exemple, le type usité sur le *Lake* ›*ore and Michigan Southern Ry* (*fig.* 6) : une tôle AB, pelée *diaphragm*, inclinée à 30° (pas plus de 35°) sur la aque tubulaire, dirige les carbilles vers le bas de la ite à fumée : une autre ›e ajustable CD sert à ré›r exactement l'orifice de ssage des gaz. Ceux-ci re›ntent ensuite pour traverr une grille à flammèches se rendre à la cheminée passant au-dessus de l'é›appement (*). La cheminée t prolongée à l'intérieur › la boîte à fumée, de façon lui donner une hauteur suffisante, et une tôle horizonle, appelée *false top*, règne dans la boîte à fumée, à uteur de la base de la cheminée.

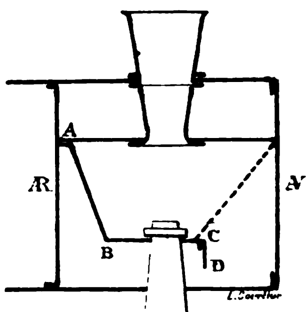


Fig. 6. — Boîte à fumée « self cleaning » du L. S. & M. S. Ry

En fait, cette boîte à fumée ne retient guère d'escar-

(*) L'échappement est toujours fixe : les ingénieurs américains re›nnaissent que c'est un tort, mais ils n'osent pas mettre un échappe›ent variable à la disposition de leurs mécaniciens, qui s'en serviraient ›robablement très mal.

et les tôles A' et R, on emploie des entretoises de $22^{mm}1/4$ à $25^{mm},4$ de diamètre, espacées de 76 à 95 millimètres ; pour le ciel du foyer, le diamètre est plus fort, par exemple $28^{mm}1/2$. Au *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, on exige une résistance comprise entre 34 kilogrammes et 38 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement supérieur à 28 p. 100. Au *Baltimore and Ohio Ry* la résistance doit être comprise entre $32^{kg},4$ et 36 kilogrammes par millimètre carré, et l'allongement requis est fonction de cette résistance :

de $32^{kg},4$ à $33^{kg},2$,	allongement	$>$ 30 p. 100
de $33^{kg},2$ à $33^{kg},8$,	allongement	$>$ 29 p. 100
de $33^{kg},8$ à $34^{kg},5$,	allongement	$>$ 28 p. 100
de $34^{kg},5$ à 36^{kg} ,	allongement	$>$ 27 p. 100

De plus, les entretoises sont toujours soumises à un essai spécial, dit « essai vibratoire », au moyen d'une machine *ad hoc* : on encastre les extrémités des entretoises dans deux pièces laissant une longueur libre de $152^{mm},5$; l'une de ces pièces est fixée à un dynamomètre qui doit indiquer une tension de 170 kilogrammes par centimètre carré de section de l'entretoise ; l'autre pièce est animée d'un mouvement de translation autour de l'axe de l'entretoise, de façon que son centre décrive un cercle de $1^{mm},6$ de rayon. L'entretoise doit supporter un nombre minimum de « vibrations » (on appelle ainsi les révolutions du support de la pièce mobile) avant de se rompre ; ce nombre est variable avec le diamètre de l'entretoise :

Diamètre	$22^{mm},2$:	3.000 vibrations
—	$25^{mm},4$:	2.200 —
—	$27^{mm},0$:	1.500 —

La question la plus à l'ordre du jour en Amérique, au point de vue de l'amélioration du foyer, est celle des *entretoises flexibles*. Cette question a donné lieu à de

longues discussions au XXXIX[e] Congrès de la *Master Mechanics' Association*, tenu en juin 1906 à Atlantic City : nous allons résumer les différentes opinions émises sur ce sujet.

Parmi les divers types d'entretoises flexibles expérimentés en Amérique, quatre seulement l'ont été avec une extension suffisante pour qu'on puisse les juger (*fig.* 2). Dans ces quatre types, la tête extérieure de l'entretoise est placée dans une bague en acier vissée dans la tôle de la boîte à feu, et sur cette bague est vissé un écrou à chapeau destiné à assurer l'étanchéité du système; l'entretoise est fixée dans la tôle du foyer comme à l'ordinaire.

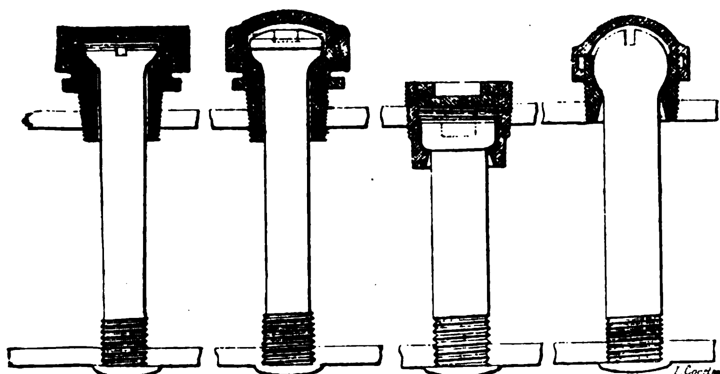


FIG. 2. — Entretoises flexibles.

Dans le premier type, on avait ménagé une rainure dans la tête de l'entretoise afin de pouvoir visser celle-ci dans la tôle du foyer; mais cette disposition a provoqué de nombreuses ruptures de la tête de l'entretoise. On a alors imaginé un deuxième type, très analogue, où la tête est renforcée et porte un évidement de section carrée qui sert à visser l'entretoise dans la tôle du foyer. Ces deux types ont l'inconvénient de posséder un espace vide assez

important autour de l'entretoise, à l'intérieur de la bague; avec des eaux incrustantes, ce logement est rapidement rempli par un dépôt compact, de sorte que l'entretoise perd complètement sa flexibilité. Dans le troisième type, on a réduit cette cavité au minimum en plaçant la surface d'appui de la tête d'entretoise aussi près que possible de l'extrémité de la bague, et en évasant l'intérieur de celle-ci. Enfin, dans le quatrième type, on a réalisé une plus grande flexibilité, jointe à une plus grande résistance, en adoptant une tête sphérique; de plus, la bague ne pénètre plus à l'intérieur de la lame d'eau, et, par suite, est moins exposée à recueillir les dépôts de matières incrustantes.

Les endroits où il convient d'appliquer des entretoises flexibles sont ceux où les entretoises rigides donnent lieu à des ruptures et à des fuites, ce qui indique l'existence de déplacements relatifs de la tôle du foyer et de celle de la boîte à feu. Bien que ces emplacements varient beaucoup avec les types de foyer, on peut dire qu'en général, avec les foyers à grille large, les ruptures et les fuites sont surtout localisées aux angles supérieurs des flancs et à la partie de la plaque tubulaire avoisinant les rangées inférieures de tubes. On a constaté sur plusieurs réseaux (notamment au *Pennsylvania R. R.*) que les fuites et les ruptures disparaissaient en grande partie, ou même complètement, par l'emploi d'entretoises flexibles dans ces régions seulement, le reste du foyer comportant des entretoises rigides comme auparavant. Souvent on emploie également des entretoises flexibles pour les rangées inférieures placées près du cadre du foyer, dont la rigidité donne lieu à des dilatations très irrégulières pour les tôles au contact. Sur d'autres réseaux, on a même mis à l'essai des foyers équipés entièrement avec des entretoises flexibles; au *Wabash R. R.*, on a essayé les entretoises flexibles pour éviter les fissures qui se produisaient

dans les tôles des flancs du foyer, au raccordement avec la plaque tubulaire : par ce moyen, la durée des tôles a pu être portée de 11 mois à 3 ans en moyenne.

En général, avec des eaux peu incrustantes et des entretoises flexibles d'un dessin convenable, les ruptures sont rares. C'est ainsi qu'au *Chesapeake and Ohio R. R.*, sur 15.000 à 16.000 entretoises flexibles appliquées depuis trois ans sur 210 locomotives, on en a retiré seulement 22 en 1906 : ce sont les premières qui aient été reconnues brisées ; elles sont d'ailleurs du premier type décrit plus haut, et dont il a été appliqué 2.500 : tout le reste est composé d'entretoises du quatrième type, qui n'ont donné lieu jusqu'ici à aucun incident. Au contraire, sur des réseaux où les eaux sont très incrustantes, les résultats sont moins favorables.

On reproche, d'ailleurs, à tous les types d'entretoises flexibles expérimentés, la difficulté (on pourrait même dire l'impossibilité pratique) que l'on rencontre à déceler leurs fissures ou leurs ruptures. En effet, pour procéder à l'essai au marteau, il est nécessaire de démonter le chapeau, ce qui le met, le plus souvent, hors d'usage. Il conviendrait donc de rechercher un type d'entretoise flexible ne possédant pas cet inconvénient.

Voûte en briques et tubes d'eau dans le foyer. — Certains réseaux placent dans le foyer une voûte en briques, suivant une pratique fréquemment adoptée en Europe. Mais, à cause de la largeur du foyer des machines américaines, on est obligé de disposer des supports intermédiaires pour la voûte, les appuis sur les flancs du foyer étant insuffisants. Ces supports sont constitués par des tubes où circule l'eau de la chaudière.

C'est surtout au *New York Central and Hudson River R. R.* que cette pratique s'est répandue. D'après M. Whyte, « mechanical engineer » de ce réseau, la voûte

à briques (« arch brick ») avec tubes d'eau (« arch tubes ») procure une économie de combustible d'environ 2 p. 100, répartie à peu près également entre la voûte et les tubes : la voûte rend la combustion plus complète, et permet de remédier à l'inconvénient des foyers peu profonds ; quant aux tubes, ils sont le siège d'une vaporisation très active, et leur inclinaison assure une circulation constante dans les lames d'eau de la boite à feu.

La disposition adoptée par le *New York Central and Hudson River R. R.*, sur presque toutes ses machines, consiste en une voûte composée de grandes briques plates supportées par quatre tubes de 76 millimètres de diamètre. Sur les foyers des dernières machines 2-8-0, ces tubes représentent une surface de chauffe de $2^{m2},48$ (Pl. XII, *fig*. 3 et 4) : partant de la lame d'eau *N* au-dessous du faisceau tubulaire, les tubes d'eau aboutissent à la lame d'eau R, plus haut que le cadre de la porte du foyer. Ces tubes d'eau sont mandrinés dans les tôles de foyer à la façon des tubes de la chaudière dans la plaque tubulaire de boite à fumée : en face des extrémités de chaque tube, la tôle de boite à feu est percée d'un trou, avec bouchon en fer, afin de pouvoir nettoyer l'intérieur des tubes. La voûte en briques ne recouvre que la moitié *N* de ce cadre de tubes. On met actuellement à l'essai des voûtes composées de grandes briques dont la longueur égale la demi-largeur du foyer : la voûte peut alors être supportée au moyen d'un seul tube de $101^{mm},6$ de diamètre, placé dans le plan de symétrie du foyer, et sur lequel viennent se rejoindre les briques formant des arches en deux voussoirs seulement.

Au *Pennsylvania R. R.*, on a, au contraire, renoncé aux voûtes en briques avec tubes d'eau, parce qu'on a jugé leur entretien trop coûteux.

Grille. — Ainsi que nous l'avons dit, la *grille large* e

la règle générale sur les machines américaines. La disposition de la grille est alors commandée par celle des roues de l'essieu AR. Lorsque c'est un essieu porteur à roues de faible diamètre, on emploie généralement une grille horizontale. Au contraire, sur les machines 4-6-0 ou 2-8-0 à roues de $1^m,60$ par exemple, une grille horizontale ne donnerait au foyer qu'une profondeur très insuffisante ; on emploie alors deux dispositions : le plus souvent, la partie AR de la grille, située au-dessus des roues du dernier essieu, est horizontale, et la grille s'incline entre les deux derniers essieux, de façon à augmenter la profondeur du foyer à l'avant ; sur certains réseaux, on a reproché à cette grille brisée, entre autres inconvénients, de donner un feu manquant d'homogénéité, parce que la couche de combustible est généralement moins épaisse à l'endroit de la brisure que sur les autres points de la grille ; on renonce alors à placer horizontalement la partie AR, et on la dispose dans le même plan incliné que la partie AV (cette disposition a notamment remplacé la précédente sur les derniers types de machines 2-8-0 du *New York Central and Hudson River R. R.*).

Généralement les barreaux de grille sont du type « à doigts » (« finger grate »), et souvent ils sont munis d'un dispositif permettant de les faire basculer pour briser les mâchefers (*).

Notons enfin que l'on fait souvent déboucher dans le cendrier les tuyaux de décharge des injecteurs de la machine afin d'éteindre les mâchefers.

Chargement mécanique du foyer. — Dans la traction des lourds trains de marchandises sur les rampes, le service du chauffeur américain est devenu particulièrement pénible ;

(*) On retrouve cette disposition sur certaines machines du P.-O., série 5001, type 2-8-0.

il n'est pas rare de relever des consommations de 70 à 80 kilogrammes de charbon par kilomètre. Sur la machine Mallet du *Baltimore and Ohio R. R.*, dont nous parlerons plus loin, la consommation de charbon par kilomètre ressort en moyenne à 140 kilogrammes ou même 150 kilogrammes : nous avons constaté, en accompagnant cette machine, que, pendant un parcours durant 1h 10 à 1h 20, le chauffeur ne cessait pas un instant de charger du combustible sur la grille : le foyer possède deux portes coulissant sur des glissières horizontales, et le chauffeur charge alternativement par chacune d'elles, en fermant la porte pendant qu'il remplit sa pelle, sans quoi il y aurait constamment une des deux portes d'ouverte.

Malgré ces consommations élevées, on ne songe pas en Amérique à placer deux chauffeurs sur la même machine; mais on conçoit que les ingénieurs de ce pays aient cherché, pour répondre aux besoins d'augmentation de puissance qui se produiront dans l'avenir, à réaliser un dispositif de chargement mécanique du foyer. De nombreux systèmes ont été expérimentés.

Celui qui a donné lieu aux essais les plus suivis est le chargeur *Victor ;* cet appareil ne supprime pas complètement l'intervention du chauffeur, car celui-ci doit prendre le charbon dans le tender pour en approvisionner une trémie qui le distribue au chargeur. De la trémie le charbon tombe sur une tôle placée devant la porte du foyer, et prolongée à l'intérieur de celui-ci; sur cette tôle se déplace un râteau mû par un piston à vapeur, qui envoie le charbon sur la grille. Le piston actionne sa propre distribution afin de produire le retour en arrière de l'appareil; de plus, il provoque la manœuvre de la porte du foyer à chaque mouvement du râteau. Un régulateur permet de faire varier le nombre de coups du piston dans un temps donné; mais l'amplitude du mouvement reste fixe. La partie de la tôle qui pénètre à l'inté-

rieur du foyer possède une forme spéciale, de façon à répartir le charbon sur toute la grille : naturellement cette tôle distributrice, constamment placée dans les flammes du foyer, ne peut avoir une existence prolongée. L'avantage de ce type de chargeur (et des appareils analogues) est de pouvoir fonctionner avec une grosseur quelconque de charbon et, en particulier, avec du tout-venant, qui est le combustible le plus employé en Amérique.

On a imaginé un autre système complètement automatique, supprimant le travail du chauffeur (tandis que l'appareil précédent se bornait à le réduire, dans une proportion considérable, il est vrai), mais ne pouvant fonctionner qu'avec du menu : des chaînes à godets prennent le charbon dans le tender et le conduisent à une trémie distributrice, d'où il tombe librement sur une tôle placée devant la porte du foyer. Sur cette tôle sont placées plusieurs tuyères à vapeur, de directions divergentes, qui envoient le charbon aux divers points de la grille.

Bien que certains appareils du premier type aient fonctionné d'une façon satisfaisante, notamment sur le réseau des *Big-Four*, le comité désigné par le Congrès de 1905 de la « Master Mechanics' Association », pour étudier ce sujet, a conclu en 1906 qu'on ne pouvait encore pas être fixé, à l'heure actuelle, sur la résistance de ces appareils, ni sur les frais d'entretien qu'ils nécessitent en service.

Tubulure. — Les tubes des machines américaines sont en fer; on emploie généralement des tubes de 50^mm^,8 (2 pouces) de diamètre extérieur lorsque leur longueur est inférieure à 5 mètres, et de 57 millimètres (2 pouces 1/4) lorsqu'elle est supérieure à 5 mètres. Les tubes de grande longueur sont d'un emploi courant en Amérique; sur les machines du type 4-6-2, ils ont généralement $6^m,100$, et atteignent exceptionnellement $6^m,400$ sur les machines

Mallet du *Baltimore and Ohio R. R.* et du *Great Northern R^y*, et sur les locomotives 4-6-2 du *Chicago Burlington and Quincy R^y*. Les trous de la plaque tubulaire *N* ont un diamètre supérieur de $3^{mm},2$ à celui des tubes; quant aux trous de la plaque tubulaire *R*, ils ont le même diamètre que le tube, ou un diamètre inférieur de $3^{mm},2$; dans tous les cas, le tube est rétreint à son extrémité *R*, puisqu'on place des bagues dans les trous de la plaque tubulaire du foyer, comme nous l'expliquerons plus loin.

Dans la plaque tubulaire de boîte à fumée, les tubes sont simplement mandrinés au moyen d'un outil conique. Pour la plaque tubulaire du foyer, on interpose entre le tube et la plaque une bague en cuivre rouge (à 99,5 p. 100 de Cu) de $1^{mm},6$ d'épaisseur, destinée à assurer l'étanchéité du joint. Pour des plaques tubulaires *R* de $12^{mm},7$ d'épaisseur (dimension généralement adoptée), on donne à la bague une longueur de $15^{mm},9$, de façon qu'elle dépasse à l'intérieur du corps cylindrique, en formant un bourrelet qui s'écrase autour du tube lors du dudgeonnage. Au *Chicago Burlington and Quincy R^y*, on a récemment porté la longueur des bagues à $25^{mm},4$, et l'on a constaté que les fuites à la tubulure étaient moins fréquentes avec ces bagues allongées qu'avec les bagues ordinaires.

Les tubes, préalablement rétreints d'une quantité convenable, sont d'abord mandrinés afin d'écraser la bague. On emploie dans ce but un mandrin spécial, dit « Prosser expander », dont le dessin varie peu d'un réseau à l'autre. Celui du *Pittsburgh and Lake Erie R. R.* est composé de 5 secteurs (*fig.* 3) maintenus par une lame d'acier formant ressort : on fait pénétrer à l'intérieur une aiguille conique (*). Au moyen d'un second mandrin très ana-

(*) Sur d'autres réseaux, notamment au *Lake Shore and Michigan*

logue, on rabat contre la plaque tubulaire les bords du tube dépassant à l'intérieur du foyer. Ensuite on dudgeonne le tube au moyen d'un appareil à galets, d'un type

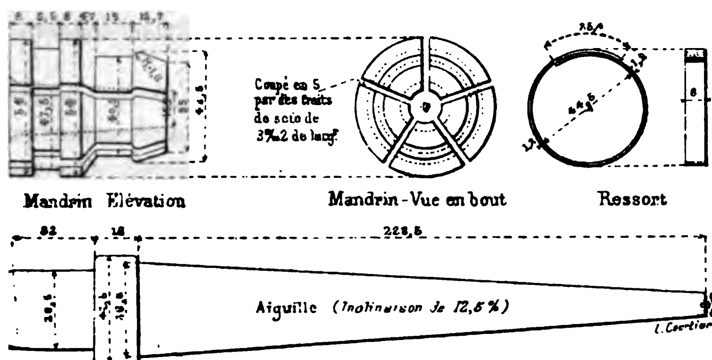


Fig. 3. — Prosser expander.

analogue à ceux qui sont usités en Europe. Enfin, on achève d'appliquer contre la plaque tubulaire les bords du

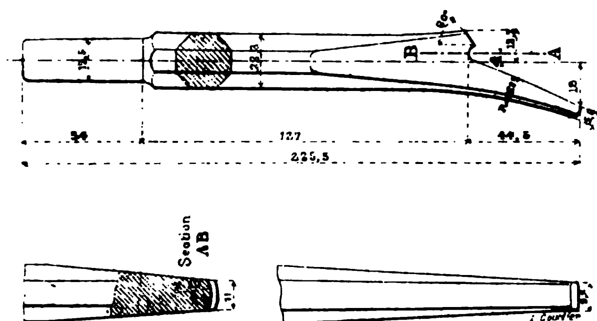


Fig. 4. — Beading tool.

tube rabattus précédemment au moyen d'un outil dit « beading tool » (*fig.* 4), comportant deux branches iné-

uthern Ry, le mandrin se compose de huit secteurs maintenus par une bague en caoutchouc, et l'on y enfonce une aiguille à section octogonale.

gales réunies par un arrondi de rayon variable suivant l'épaisseur des tubes : la grande branche, que l'on place à l'intérieur du tube, est dessinée de façon à empêcher l'ouvrier de détériorer la plaque tubulaire avec la petite branche, en limitant l'inclinaison que l'on peut donner à l'outil.

Soupapes. — En observant les machines américaines en service, on constate que les soupapes se lèvent brusquement et se referment avec la même netteté au bout d'un temps très court (dix à quinze secondes, par exemple); ceci prouve qu'elles ont une sensibilité remarquable et un grand débit.

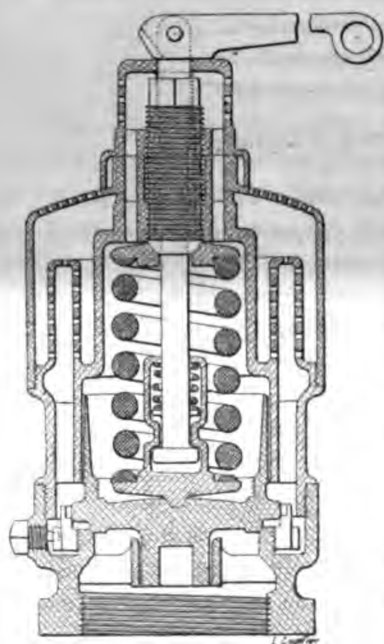


Fig. 5. — Soupape de sûreté de la Coale Muffler and Safety Valve C°.

Au *Pennsylvania R. R.*, où l'on emploie les soupapes de la « Coale Muffler and Safety Valve C° » (*fig.* 5), on nous a donné les chiffres suivants : pour une chaudière timbrée à 13^{kg},050 par centimètre carré, la première soupape est réglée pour se lever à 13^{kg},050 et se refermer quand la pression est tombée à 12^{kg},700 ; la deuxième soupape se lève à 13^{kg},400 lorsque la première ne suffit pas à débiter tout le surplus de vapeur, et se referme à 13^{kg},050. On cherche actuellement à resserrer ces limites,

et, sur les nouvelles machines, la première soupape se levant à 13^{kg},050 se refermera à 12^{kg},850, tandis que la seconde se lèvera à 13^{kg},250 pour se refermer à 13^{kg},050.

Les soupapes sont toujours renfermées dans des enveloppes perforées jouant le rôle de « silencieux ».

Boîte à fumée. — La plupart des réseaux américains ont adopté un type de boîte à fumée *self cleaning*, c'est-à-dire à vidange automatique : l'arrangement intérieur est tel que toutes les escarbilles soient rejetées par la cheminée au lieu de s'accumuler dans la boîte à fumée.

Nous décrirons, par exemple, le type usité sur le *Lake Shore and Michigan Southern Ry* (*fig.* 6) : une tôle AB, appelée *diaphragm*, inclinée à 30° (pas plus de 35°) sur la plaque tubulaire, dirige les escarbilles vers le bas de la boîte à fumée : une autre tôle ajustable CD sert à régler exactement l'orifice de passage des gaz. Ceux-ci remontent ensuite pour traverser une grille à flammèches et se rendre à la cheminée en passant au-dessus de l'échappement (*). La cheminée est prolongée à l'intérieur de la boîte à fumée, de façon à lui donner une hauteur suffisante, et une tôle horizontale, appelée *false top*, règne dans la boîte à fumée, à hauteur de la base de la cheminée.

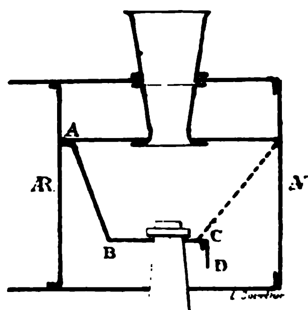


Fig. 6. — Boîte à fumée « self cleaning » du L. S. & M. S. Ry

En fait, cette boîte à fumée ne retient guère d'escar-

(*) L'échappement est toujours fixe : les ingénieurs américains reconnaissent que c'est un tort, mais ils n'osent pas mettre un échappement variable à la disposition de leurs mécaniciens, qui s'en serviraient probablement très mal.

billes, et on n'a pas disposé, à la base, d'orifice de vidange pour les extraire. Les changements de direction du courant gazeux suffisent à briser les escarbilles de façon qu'elles puissent traverser la grille à flammèches et être rejetées par la cheminée. Il ne reste qu'une faible quantité d'escarbilles à l'avant de la boite à fumée, mais le courant gazeux, qui lèche constamment cet amas, l'empêche de s'accroître. On pourrait peut-être éviter complètement sa formation en plaçant une tôle inclinée, de façon à supprimer l'angle que forme la tôle cylindrique de boite à fumée avec la plaque sur laquelle s'appuie la porte.

Les avantages que présente la boite à fumée « self cleaning » sont au nombre de deux principaux : 1° on supprime ainsi les arrêts en cours de route pour vider la boite à fumée, qui, malgré ses dimensions considérables, ne pouvait loger l'énorme quantité d'escarbilles produites, en particulier sur les locomotives à marchandises ; 2° on évite les incendies dans la boite à fumée, parce qu'on en expulse les escarbilles combustibles, et surtout parce qu'on peut fermer la porte d'une façon plus parfaite pour empêcher les entrées d'air : d'une part, on lui donne un diamètre plus faible, car elle ne doit plus servir à l'extraction des escarbilles, mais seulement permettre de travailler à la tubulure ; d'autre part, on peut employer une fermeture plus compliquée (on multiplie par exemple les taquets sur la périphérie), puisqu'on ne doit la manœuvrer que rarement (c'est ainsi qu'au *New York Central and Hudson River R. R.*, on ne l'ouvre que tous les huit jours pour le ramonage des tubes[1].

Mais le type « self cleaning » présente un gros inconvénient : toutes conditions égales d'ailleurs, le tirage est réduit de 50 p. 100 par la présence du « diaphragm » ; il conviendrait donc de trouver une disposition offrant moins de résistance.

Le *Pennsylvania R. R.* continue à employer la boite à

fumée ordinaire sans « diaphragm » ; néanmoins on évite d'ouvrir la porte lors de la vidange, grâce à l'artifice suivant : la boîte à fumée porte : 1° à la partie inférieure, un trou de vidange avec tuyau fermé par un registre manœuvrable depuis le tablier N de la machine, et 2° de chaque côté, à hauteur de l'axe de la chaudière, deux regards : à l'aide de ringards introduits par ces orifices, on expulse les escarbilles par le trou de vidange.

En 1905, des expériences ont été faites au laboratoire de l'Université de *Purdue*, sur une locomotive 4-4-2 du *New York Central and Hudson River R. R.*, possédant une boîte à fumée « self cleaning », dans le but de déterminer le meilleur arrangement qu'il convient d'adopter avec ce système. On faisait varier la hauteur de l'échappement, les dimensions de la cheminée, la longueur de la boîte à fumée, etc. ; on appliquait des dispositifs variés, tels que « petticoat », « false top », etc. Dans toutes ces expériences, on réglait la contre-pression dans les cylindres à une valeur constante de $0^{kg},246$ au-dessus de l'atmosphère, et l'efficacité de la disposition essayée était mesurée par le tirage obtenu.

On a constaté ainsi que le « *false top* », — auquel on reproche d'empêcher l'inspection d'une partie de la plaque tubulaire, — peut être remplacé, sans perte de tirage, par un évasement en forme de cloche (d'où son nom de « *bell* ») placé à la base de la cheminée (*).

On a constaté également que l'emploi du « *petticoat* », s'il améliore le tirage des boîtes à fumée dont les dimensions sont mal proportionnées, n'est d'aucune utilité sur le type de boîte à fumée possédant les dimensions reconnues les meilleures d'après ces expériences.

Pour la longueur de la boîte à fumée, on a obtenu des

(*) Toutefois ce dispositif rend peut-être la boîte à fumée moins « self cleaning » que le « false top ».

résultats assez inexplicables ; mais, une seconde série d'essais ayant reproduit les mêmes singularités, il faut bien admettre qu'on ne s'est pas trompé dans les mesures. On a trouvé qu'avec les dispositions adoptées les longueurs extrêmes que l'on a expérimentées, soit $1^m,675$ et $1^m,170$, donnaient le même tirage, mais que les résultats étaient nettement inférieurs pour des longueurs intermédiaires.

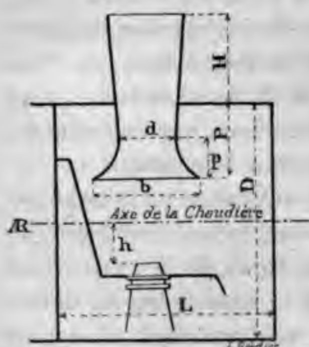


FIG. 7. — Boîte à fumée type de l'Université de Purdue.

Les proportions indiquées comme les meilleures par ces essais sont les suivantes (Voir la signification des lettres sur la *fig*. 7) :

H } aussi grands que possible ;
h }
$d = 0,21D + 0,16h$;
$b = 2d$ ou $0,5D$;
$P = 0,32D$;
$p = 0,22D$;
$L = 0,6D$ ou $0,9D$.

De plus, la cheminée doit être conique, à l'inclinaison de 16,5 p. 100.

En 1906, le *New York Central and Hudson River R.R.* a mis à l'essai, sur quelques locomotives 4-4-2, des boîtes à fumée possédant ces proportions, afin de voir s'il ne serait pas possible de réduire la contre-pression dans les cylindres (en augmentant l'orifice d'échappement) tout en obtenant un tirage suffisant. A cet effet, le diamètre de l'orifice d'échappement a été porté de 146 millimètres ou $152^{mm},5$ (dimensions normales) à 159, 162 et 165 milli-

mètres. Avec l'échappement de 165 millimètres, la machine a une vaporisation insuffisante, et la combustion est mauvaise (beaucoup de fumée); avec 162 millimètres, la vaporisation est suffisante, mais la combustion est toujours imparfaite ; avec 159 millimètres, la vaporisation et la combustion sont bonnes, mais la boite à fumée est insuffisamment « self cleaning ». On a donc réduit le diamètre de l'orifice d'échappement à 156 millimètres, ce qui a donné d'aussi bons résultats que l'échappement de 152mm,5 sur les boites à fumée non modifiées (ces boites à fumée ont des cheminées cylindriques): on n'a pas déterminé la réduction qui en résultait pour la contre-pression dans les cylindres.

Cheminée. — Nous venons d'exposer les dispositions et les proportions qui sont recommandées pour la cheminée. Il nous reste à donner quelques détails sur son mode de construction.

La cheminée en tôle est de moins en moins employée en Amérique ; on lui préfère la cheminée en fonte, qui s'use beaucoup moins vite.

Comme c'est principalement la partie supérieure qui est rapidement brûlée, on lui donne une épaisseur plus grande que celle de la base (par exemple 8mm,4 au-dessous du rebord supérieur, contre 5mm,1 seulement à la base). Nous avons remarqué sur plusieurs réseaux, notamment ceux de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* et du *Canadian Pacific Ry*, des cheminées en deux pièces : l'une d'elles, formant la base, est fixée sur la boite à fumée, tandis que la partie supérieure, évasée, est reliée à la base par quatre boulons extérieurs; on peut ainsi, en cas d'usure de la partie supérieure, conserver la base, qui se détériore beaucoup moins vite. Quant au prolongement de la cheminée à l'intérieur de la boite à fumée, il est toujours constitué par une pièce distincte.

Cylindres. — Nous avons vu, à l'exposition du matériel de chemins de fer d'Atlantic City, en juin 1906, des cylindres en acier moulé : bien que l'on puisse déjà citer plusieurs exemples de ce genre, il n'a pas encore été fait d'expériences suivies sur cette nouvelle application de l'acier moulé. Les cylindres des machines américaines sont donc toujours en fonte : les spécifications adoptées en 1906 par le Congrès de la « Master Mechanics' Association » sont les suivantes :

Si	1,25 à 1,50 p. 100
P	0,50 à 0,80
S	0,06 à 0,10
Mn	0,30 à 0,60
C combiné	0,50 à 0,70
C graphitique	2,75 à 3,95

D'après les relevés faits sur un grand nombre de cylindres, on a constaté que, lorsque le silicium dépasse 1,80 p. 100, l'usure est excessive ; au contraire, lorsque le silicium tombe au-dessous de 1 p. 100, le cylindre se brise facilement, soit au refroidissement après moulage, soit en service. On exige que la résistance à la traction soit d'au moins 17kg,5 par millimètre carré et que le retrait au moulage ne dépasse pas 1 p. 100.

Les *cylindres* sont presque toujours coulés suivant la méthode américaine typique, consistant à fondre en une seule pièce un cylindre, sa boite à tiroir (en partie seulement quand le tiroir est plan, en totalité lorsqu'il est cylindrique) et la moitié du support de boite à fumée renfermant les tuyaux d'admission de vapeur et d'échappement (Voir *fig.* 8). Le support de boite à fumée est connu sous le nom de « selle » (saddle), d'où le nom de « *half saddle type* » (*) donné à ce mode de construction.

(*) Half saddle type = type demi-selle.

Ce système présente un inconvénient que certains réseaux jugent assez grave : à cause de la forme du moule des conduites de vapeur renfermées dans le support de boîte à fumée, on est obligé de couler cette pièce dans la position inverse de celle qu'elle occupe sur la locomotive, la selle étant placée à la partie inférieure du moule : *le cylindre est donc coulé horizontalement*, sans qu'il soit possible d'assurer son homogénéité par l'addition d'une masselotte, comme dans la coulée verticale usitée en Europe. On reproche alors aux cylindres ainsi coulés de ne pas posséder en tous leurs points une structure absolument constante, ce qui donnerait en service des inégalités d'usure, ou même des ruptures.

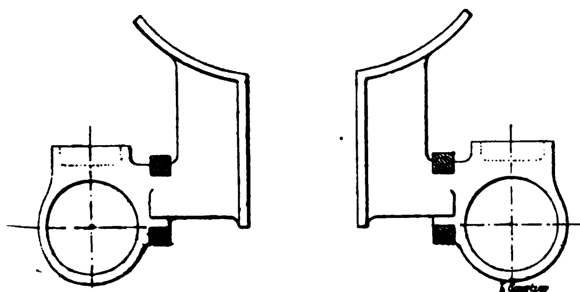


Fig. 8. — Cylindres et support de boîte à fumée en deux pièces du « half saddle type ».

Deux procédés sont employés pour remédier à ce défaut d'homogénéité ; malheureusement ces deux systèmes ont aussi leurs inconvénients.

La première méthode consiste à placer une chemise rapportée (*bushing*) à l'intérieur du cylindre ; les réseaux qui emploient ce dispositif sont assez nombreux. Les chemises pouvant être coulées verticalement, avec une masselotte, ont toute l'homogénéité désirable. Avec les dimensions actuellement adoptées pour les cylindres, on

donne aux chemises une épaisseur variant de 15 à 20 millimètres. Le cylindre est chauffé au gaz de façon à y placer la chemise sans forcer, et le retrait du cylindre au refroidissement suffit à maintenir la chemise. Cependant, pour éviter qu'elle ne se déplace par l'effet du frottement des segments du piston, on la fixe au cylindre au moyen de deux vis de 5 à 6 centimètres de diamètre, disposées sur la génératrice inférieure du cylindre. L'inconvénient de cette méthode consiste dans le danger de rupture de la chemise, soit lors du refroidissement du cylindre après la mise en place, soit en service, aux points où elle est affaiblie par les deux vis dont nous venons de parler. Certains réseaux estiment donc qu'il est préférable de s'en passer, d'autant plus que ce disposit[illegible] est coûteux.

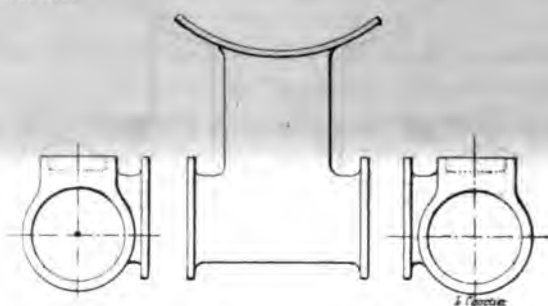


Fig. 9. — Cylindres et support de boite à fumée en trois pièces du P. R.

L'autre solution consiste à renoncer au « half sadd[illegible] type » : ce mode de construction est usité depuis huit a[illegible] par le *Pennsylvania R. R.*, sur ses machines 4-4-2 et 2-8-[illegible] au lieu de couler en deux pièces le support de boite [illegible] fumée et les cylindres, on fait trois pièces en fondar[illegible] séparément le support de boite à fumée et chacun de[illegible] cylindres avec sa boite à tiroir (Voir *fig.* 9). On e[illegible] alors libre de couler chacune des pièces dans la positio[illegible] qui lui convient le mieux, c'est-à-dire de placer le[illegible]

cylindres verticalement, et de retourner le support de boite à fumée (la selle en bas). De plus, on réalise un grand avantage sur le « half saddle type » au point de vue des réparations, qui sont rendues plus faciles et moins coûteuses : avec le système ordinaire, lors d'une avarie à un cylindre, on est obligé de remplacer complètement la pièce de moulage dont il fait partie.

Par contre, le mode de construction « en trois pièces » est bien plus compliqué que le « half saddle type », à cause des joints entre les cylindres et le support de boite de fumée pour le passage de la vapeur à l'admission et à l'échappement. La conduite d'arrivée de vapeur de la selle est reliée à la boite à tiroir au moyen d'un raccord très court, constituant une pièce distincte, et comportant par conséquent deux joints. Pour la vapeur d'échappement, on se contente de placer vis-à-vis l'une de l'autre la conduite du cylindre et celle du support de boite à fumée, et l'on perce un trou de même diamètre dans la plaque d'assemblage du longeron placée entre ces deux pièces, comme nous l'indiquerons plus loin en étudiant le châssis.

Sans insister sur le supplément de frais de premier établissement provenant de cette complication, il faut signaler la grande difficulté que l'on rencontre à maintenir tous ces joints étanches : par suite des efforts auxquels est soumis le châssis de la machine, le longeron prend rapidement du jeu, ce qui amène une fuite à l'échappement entre le cylindre et le support de boite à fumée. Cette fuite atteint souvent une telle importance qu'il est impossible au mécanicien d'apercevoir la voie. De plus, cette dislocation des pièces entraîne fatalement celle des tuyaux de raccord amenant la vapeur vive à la boite à tiroir, de sorte que les fuites à l'échappement se compliquent, au bout d'un certain temps, de fuites à l'admission.

Pour ces raisons, la *Baltimore and Ohio R. R.*, — qui avait employé ce mode de construction sur un grand nombre de locomotives construites dans ces dernières années d'après les mêmes types que celles du Pennsylvania R. R., — est revenue au « half saddle type » avec chemises rapportées pour ses nouvelles machines.

Tiroirs. — Les tiroirs américains sont toujours en fonte, ils appartiennent à deux types : le tiroir plan équilibré et le tiroir cylindrique.

Les *tiroirs plans équilibrés* sont généralement du type Richardson ordinaire : avant que le brevet ne soit tombé dans le domaine public, les réseaux s'ingéniaient à le tourner par des modifications insignifiantes.

Ces tiroirs plans sont toujours placés horizontalement au-dessus des cylindres, et actionnés, au moyen d'arbres de renvoi, par la distribution placée entre les longerons.

Les *tiroirs cylindriques* diffèrent peu d'un réseau à l'autre; nous donnons comme exemple la disposition adoptée par l'*American Locomotive C°* (Voir Pl. IX, *fig.* 7 et 8). Le corps du tiroir est tubulaire : on évite ainsi les ruptures qui se produisaient lorsque les deux extrémités du tiroir cylindrique étaient reliées par une tige pleine ; chaque extrémité porte deux segments en fonte, pour lesquels on a essayé des dispositions variables afin d'éviter leur rupture et d'empêcher le plus possible les fuites : aucun de ces arrangements n'a réussi à supprimer complètement ces deux inconvénients. On adopte généralement, pour les tiroirs cylindriques, un diamètre compris entre 25 et 38 centimètres. La boîte à tiroir est toujours munie d'une chemise rapportée (le plus souvent, on dispose deux chemises partielles recouvrant seulement les espaces où frottent les segments du tiroir). Cette chemise est forcée à froid dans la boîte à tiroir : avec les dimensions que nous avons indiquées pour le tiroir cylin-

drique, la chemise a un diamètre extérieur inférieur de 0mm,18 à 0mm,30 au diamètre intérieur de son logement, ce qui produit un serrage suffisant pour empêcher la chemise de se déplacer dans la boite à tiroir sous l'influence du frottement des segments.

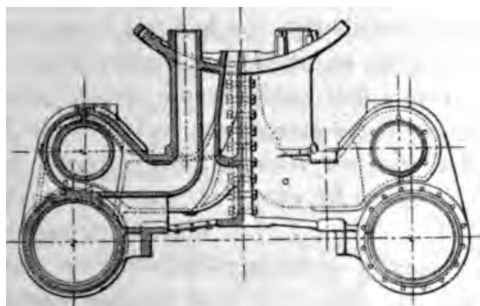


Fig. 10. — Cylindres des locomotives du C. P. R.

Tandis que l'emplacement des tiroirs plans est toujours le même, on a adopté, avec les tiroirs cylindriques, deux dispositions différentes : la première consiste à placer le tiroir au-dessus du cylindre (comme précédemment), en le reportant même parfois légèrement vers l'extérieur : c'est ainsi que sont montés les tiroirs cylindriques sur toutes les locomotives du *Canadian Pacific Ry* (Voir *fig.* 10) et des *Harriman Lines*, où ils sont actionnés par des distributions intérieures avec arbres de renvoi ; c'est aussi le montage que l'on a adopté pour les locomotives à distribution extérieure, ce qui a l'avantage de placer la tige du tiroir dans le plan vertical de la distribution (*). Avec les tiroirs placés au-dessus des cylindres, on peut conserver pour les longerons la terminaison en forme de fourche usitée auparavant.

(*) Notons cependant que, sur les nouvelles locomotives 2-6-2 du *Lake Shore and Michigan Southern Ry* à distribution extérieure, on a conservé la disposition que nous décrivons en second lieu.

Dans la seconde disposition, on a eu pour but de réaliser autant que possible le même avantage pour les distributions intérieures : les tiroirs cylindriques sont alors placés dans le plan des longerons, à une cote supérieure à celle des cylindres. Avec ce montage, on a conservé l'arbre de renvoi, mais on réduit sa longueur au minimum, de façon à rendre l'action de la distribution sur le tiroir aussi directe que possible. De plus, on simplifie considérablement la pièce de moulage du « half saddle type », qui devient beaucoup plus ramassée. Cette disposition, usitée sur le *New York Central and Hudson River R. R.*, le *Lake Shore and Michigan Southern R^y*, etc., s'est beaucoup répandue, mais l'introduction récente des distributions extérieures auxquelles la première disposition convient mieux en ralentit l'extension. Avec les tiroirs reportés vers l'intérieur, on termine le longeron par une barre unique placée sous le tiroir. Toutefois, au *Chicago Burlington and Quincy R^y*, on a conservé la terminaison en fourche en abaissant davantage le tiroir (Voir *fig.* 11) ; la pièce de moulage est encore plus ramassée.



Fig. 11. — Cylindres des locomotives du C. B. & Q. R^y.

Avec la construction des cylindres et de la selle « en trois pièces », le *Pennsylvania R. R.* a dû adopter une disposition spéciale pour ses tiroirs cylindriques (Voir *fig.* 12) : ce sont des tiroirs admettant par les bords intérieurs, et actionnés par une distribution extérieure au châssis. La chambre à tiroir est placée au-dessus du cylindre, et légèrement reportée vers l'extérieur ; comme dans le système de construction en trois pièces exposé précédemment, un raccord très court relie la conduite de vapeur vive, située dans le support de boite à fumée, à l'espace central de la boite à tiroir. Pour l'échappement,

la disposition est plus compliquée : la conduite d'échappement du cylindre (dont l'orifice se trouve en regard du trou du longeron correspondant à la conduite d'échappement du support de boite à fumée), se bifurque pour aboutir à côté des extrémités de la boite à tiroir (ces orifices sont nettement visibles sur la *fig.* 12) : le raccordement entre ces conduites et la boite à tiroir est fait au moyen de pièces spéciales servant en même temps de fonds de boite à tiroir, et portant par conséquent les garnitures pour la tige. On aboutit ainsi à une construction lourde et compliquée.

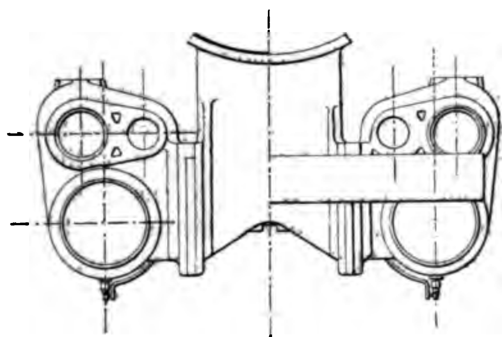


FIG. 12. — Cylindres des locomotives 2-8-0 du P. R. R., type de 1906.

Dans ces dernières années, l'usage du tiroir cylindrique s'est répandu rapidement, et les ingénieurs qui favorisent son adoption sont en majorité : son extension a encore beaucoup progressé de 1905 à 1906 : en particulier, le *Pennsylvania R. R.*, qui montait des tiroirs plans équilibrés sur toutes ses machines en 1905, n'emploie plus que des tiroirs cylindriques sur toutes les locomotives construites en 1906.

Le tiroir cylindrique présente sur le tiroir plan, même équilibré, l'avantage d'un mouvement beaucoup plus doux, ce qui réduit considérablement les frais d'entretien

de la boîte à tiroir ainsi que l'usure du mécanisme de distribution : au *Chicago Burlington and Quincy Ry*, les chemises rapportées dans les boîtes à tiroir ne sont tournées que lorsque les locomotives rentrent aux ateliers, c'est-à-dire après des parcours de 65.000 à 80.000 kilomètres.

Mais on reproche aux tiroirs cylindriques plusieurs inconvénients assez graves.

D'abord, le graissage des tiroirs cylindriques en cours de route peut être très insuffisant sans que rien n'en avertisse le mécanicien, tandis qu'avec les tiroirs plans le levier de changement de marche devient tellement pénible à manœuvrer que le mécanicien est bien obligé de veiller à ce que les tiroirs soient convenablement lubrifiés. Il en résulte qu'avec des mécaniciens négligents les tiroirs cylindriques nécessitent plus de réparations que les tiroirs plans. Sur 222 locomotives à tiroirs cylindriques du *Norfolk and Western Ry*, on a remplacé au bout de quatre mois 21,8 p. 100 des segments, soit 10 p. 100 par suite de rupture et 11,8 p. 100 pour usure excessive. Pour éviter de semblables inconvénients, le ***Baltimore and Ohio R. R.*** n'a monté de tiroirs cylindriques que sur ses machines d'express, conduites par les meilleurs mécaniciens, travaillant en double équipe, tandis qu'il a conservé les tiroirs plans équilibrés pour les locomotives à marchandises, travaillant sous le régime de la « banalité », et conduites parfois par des mécaniciens inexpérimentés.

On a surtout reproché aux tiroirs cylindriques de donner lieu à des *fuites de vapeur* exagérées. Plusieurs réseaux se sont livrés à des expériences destinées à déterminer dans quelle mesure cette critique était fondée. Au *Lake Shore and Michigan Southern Ry*, on a constaté que, sur 9 locomotives à tiroirs cylindriques, ayant parcouru 21.000 à 124.000 kilomètres, la perte de vapeur variait de 245 kilogrammes à 1.035 kilogrammes par heure, soit

une moyenne de 750 kilogrammes par heure, après un parcours de 64.000 kilomètres; sur 8 locomotives à tiroirs plans équilibrés, la moyenne des pertes par heure était de 532 kilogrammes après 43.000 kilomètres de parcours.

Au *Norfolk and Western Ry*, des essais faits en 1904 ont donné, sur 4 locomotives à tiroirs cylindriques, une moyenne de 170 kilogrammes de fuites par heure, contre 208 kilogrammes pour la moyenne de 2 machines à tiroirs plans équilibrés : on avait eu soin de composer les deux lots, par moitié, de machines sortant des ateliers et de machines ayant effectué de longs parcours.

Sur le réseau de *New York Chicago and St Louis R. R.*, on a obtenu les résultats suivants :

N° DE la machine	TIROIRS	TIMBRE	PARCOURS	FUITES PAR HEURE Tiroir droit	FUITES PAR HEURE Tiroir gauche
141	Cylindriques	$14^{kg},1$	59.000 km.	127 kg.	156 kg.
134	Cylindriques	$14^{kg},1$	90.000 km.	148 kg.	136 kg.
45	Plans équil.	$12^{kg},7$	54.500 km.	67 kg.	71 kg.
49	Plans équil.	$12^{kg},7$	53.500 km.	68 kg.	55 kg.

Dans ces essais, les tiroirs étaient placés dans leur position médiane; on a fait un essai sur la machine 141 en plaçant l'un des tiroirs 16 millimètres en avant de la position médiane, et l'autre 16 millimètres en arrière : les fuites par heure ont été de 96 et 160 kilogrammes, au lieu de 127 et 156 kilogrammes; on peut donc admettre que les résultats sont sensiblement indépendants de la position des tiroirs.

On remarquera que les expériences du *Norfolk and Western Ry* sont favorables aux tiroirs cylindriques. Les autres sont à l'avantage des tiroirs plans équilibrés. Toutefois il convient de noter que : 1° dans les expériences du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*, l'avantage n'est

que de 16 p. 100 pour un parcours inférieur de 33 p. 100 à celui des tiroirs cylindriques, et 2° dans celles du *New York Chicago and St Louis R. R.*, si la différence est considérable (environ deux fois plus de fuites aux tiroirs cylindriques qu'aux tiroirs plans), elle provient sans doute en grande partie du changement apporté au timbre des machines, celui des locomotives à tiroirs cylindriques étant de $14^{kg},1$ au lieu de $12^{kg},7$.

D'ailleurs, quelle que soit l'importance que l'on veuille attribuer à ces chiffres, il faut bien reconnaître que ces expériences ne représentent pas les conditions de la pratique, puisque, sur les machines en service, la pression à l'échappement est supérieure à celle de l'atmosphère pendant une partie de la course du piston, tandis que les fuites ont été mesurées sur des machines au repos, le régulateur étant ouvert en grand et l'échappement étant à la pression atmosphérique.

En général, les ingénieurs américains se déclarent très satisfaits des tiroirs cylindriques : en adoptant l'admission par les bords intérieurs, il ne subsiste que les fuites entre l'admission et l'échappement par suite du défaut d'étanchéité des segments, mais les fuites aux garnitures sont insignifiantes, puisqu'il n'y règne que la pression d'échappement. Au contraire, avec les tiroirs plans, les garnitures séparent de l'atmosphère la boite à tiroir où règne la pression d'admission : on conçoit donc que les fuites aux garnitures des tiroirs plans, ainsi que les fuites provenant du dispositif d'équilibrage, puissent compenser les fuites par « court-circuit » des tiroirs cylindriques (*).

(*) D'après ce que nous venons de dire sur la différence de nature des fuites dans les deux systèmes de tiroirs, on voit que la remarque faite plus haut sur la différence entre les conditions de marche de la machine en service et lors des expériences s'applique surtout aux tiroirs cylindriques ; les conditions adoptées pour les expériences précitées sont donc entachées de partialité en faveur des tiroirs plans.

Distribution. — Au point de vue de la distribution, il convient de noter une tendance très intéressante : c'est la récente et très rapide extension prise par la *distribution Walschaert extérieure*. On sait que, jusqu'à ces dernières années, toutes les machines américaines étaient munies de distributions Stephenson placées à l'intérieur des longerons et actionnant les tiroirs extérieurs au moyen d'arbres de renvoi. Cette disposition classique semble être en voie de disparition. En 1904, l'*American Locomotive C°* adopta la distribution Walschaert extérieure pour les 4 mécanismes de la machine Mallet du *Baltimore and Ohio R. R.* ; depuis, son emploi s'est rapidement répandu.

La distribution Walschaert extérieure présente sur la distribution Stephenson intérieure les *avantages* suivants :

1° Plus grande *accessibilité* pour l'inspection et le graissage.

2° *Poids beaucoup moindre ;* cette différence résulte des chiffres que nous donnons ici : ils s'appliquent aux locomotives du *Lake Shore and Michigan Southern Ry;* les poids donnés comprennent l'arbre de relevage (plus lourd avec la distribution extérieure), les excentriques pour les coulisses Stephenson, les contre-manivelles pour les coulisses Walschaert, et tout le mécanisme jusqu'aux tiges des tiroirs exclusivement.

	LOCOMOTIVES 2-8-0	LOCOMOTIVES 2-6-2
Stephenson	1.665 kg.	2.127 kg.
Walschaert	1.082 kg.	1.335 kg.
En moins	583 kg.	792 kg.
Soit	35 p. 100	37 p. 100

On peut donc admettre que le mécanisme Walschaert ne pèse que les 2/3 du mécanisme Stephenson.

3° Il devenait impossible d'accroître les dimensions de la coulisse Stephenson proportionnellement au travail

qu'on lui demandait, sans quoi le frottement des excentriques aurait été considérable. Par suite, les proportions du mécanisme de distribution étant insuffisantes, il en résultait des *usures excessives* et des *ruptures fréquentes*. Avec la coulisse Walschaert, où la contre-manivelle remplace les excentriques, on est libre d'adopter les dimensions que l'on juge convenables.

4° Le poids des machines augmentant, il devenait nécessaire d'accroître la *longueur des fusées* des essieux, ce que la présence des distributions intérieures rendait impossible : d'où la fréquence du chauffage des boîtes d'essieux moteurs lourdement chargés sur les machines récentes. Avec les distributions extérieures, on peut allonger les fusées vers l'intérieur autant qu'on le désire.

5° La présence des distributions intérieures rendait impossible l'emploi de larges *entretoises* en acier moulé pour assurer la rigidité du châssis de la machine : avec la distribution extérieure, on peut entretoiser les longerons suivant une disposition absolument quelconque.

Pour ces diverses raisons, le mécanisme Walschaert, placé à l'extérieur, se répand rapidement : toutes les locomotives construites en 1906 pour le *Lake-Shore and Michigan Southern Ry*, le *Pennsylvania R. R.* et le *Great Northern Ry* comportent cette distribution : beaucoup d'autres réseaux l'ont montée à titre d'essai sur un certain nombre de machines.

Distributions spéciales. — On a essayé, en Amérique, plusieurs distributions perfectionnées, destinées à améliorer l'utilisation de la vapeur dans les cylindres.

Celle qui a donné lieu au plus grand nombre d'applications est la distribution *Allfree-Hubbell*. Ce système a pour but de supprimer la compression résultant de la fermeture anticipée de l'orifice d'échappement. A cet effet, dès que le tiroir principal ferme l'échappement, il entraîne

un petit tiroir cylindrique auxiliaire qui prolonge l'échappement presque jusqu'à la fin de la course du piston (on est libre de régler le degré de compression à la valeur voulue d'après l'écartement des butées au moyen desquelles le tiroir principal entraîne le petit tiroir auxiliaire). Ce système évitant la compression, on est libre de réduire l'espace nuisible au minimum, ce que l'on a réalisé en reportant les lumières de la table à tiroir tout près des fonds de cylindres. Cette distribution a été appliquée à plusieurs locomotives du *Pittsburgh and Lake Erie R. R.*, du *Delaware and Hudson* et de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry*, sur lesquelles les résultats ont été très satisfaisants ; d'après M. Allison, « mechanical engineer » de ce dernier réseau, on réaliserait une économie de 7 p. 100 par rapport au tiroir plan ordinaire.

Le *Delaware and Hudson* a également expérimenté, sur une de ses locomotives, la distribution *Young :* dans ce système, chaque cylindre possède deux distributeurs cylindriques oscillants autour d'axes horizontaux perpendiculaires au plan de symétrie de la locomotive. Chaque distributeur, placé à un fond de cylindre, donne en même temps l'admission et l'échappement. Ce dispositif a également réalisé une économie notable sur la distribution ordinaire à tiroirs plans.

Néanmoins ces essais n'ont pas duré assez longtemps pour que l'on puisse être définitivement fixé sur la valeur de ces deux dispositifs et sur l'importance des frais d'entretien qu'ils exigeront.

Centres de roues. — Actuellement, on ne fait plus les centres de roues qu'en *acier moulé*. Afin d'avoir un retrait uniforme, on a soin d'employer un nombre impair de rais et de placer le logement de la manivelle entre deux rais.

La plupart des aciéries ne livrent les centres de roues

en acier moulé qu'avec des *jantes interrompues* en trois ou quatre points, afin de faciliter le retrait au refroidissement après moulage. Jusqu'en 1905, on ne se préoccupait pas toujours de rétablir la continuité de la jante, et l'on se contentait (même dans les grands ateliers de construction) de combler ces coupures avec du plomb ou du métal blanc. Avec cette disposition, la jante ne travaille nullement, et tous les efforts transmis par le bandage doivent être supportés par les rais : on conçoit immédiatement la facilité avec laquelle, dans ces conditions, le bandage devient fou sur le centre de roue. C'est pourquoi le Congrès de 1905 de la « Master Mechanics' Association » a définitivement condamné cette pratique et prescrit de rectifier les coupures à la mortaiseuse afin d'y placer un coin d'acier. Cette pratique, déjà adoptée sur certains réseaux depuis plusieurs années, est actuellement suivie presque partout pour les roues de grand diamètre ; mais on tend à généraliser l'emploi des centres de roues à jante continue, ce qui constitue une solution encore préférable ; en général, on ne conserve plus les coupures que pour les centres de roues dont le diamètre dépasse $1^m,60$ à la jante.

Depuis plus de deux ans, le *Pennsylvania R. R.* a fait étudier les procédés de moulage usités en Angleterre et sur le continent européen, et a supprimé les coupures même pour les roues atteignant 2 mètres de diamètre au roulement (on sait que les roues à jantes continues sont seules employées en Europe, où l'on n'admettrait pas les coupures) ; il suffit, pour avoir une pièce saine, de la laisser refroidir complètement avant de la démouler. Le Congrès de 1906 de la « Master Mechanics' Association » a donc adopté une résolution invitant les constructeurs à supprimer autant que possible les coupures dans les jantes ; pour les centres de roues de diamètre supérieur à $1^m,525$, on recommande une jante pleine de 127 milli-

mètres de largeur sur 76 millimètres d'épaisseur maxima; pour les centres de roues de diamètre inférieur à $1^m,525$, on trouve difficile de placer dans les rais des contrepoids d'équilibrage suffisants : on conseille donc de placer à la périphérie de la jante des alvéoles permettant d'alléger la roue à l'opposé du contrepoids, tandis qu'on les remplit de plomb sur la partie correspondant au contrepoids de façon à augmenter la valeur de balourd Ces jantes avec alvéoles à la périphérie étaient utilisées précédemment quel que soit le diamètre; mais on préfère actuellement employer les jantes pleines pour les roues de grand diamètre afin d'augmenter l'adhérence entre la jante et le bandage.

Les contrepoids sont venus de fonte avec le centre de roue, ou, au contraire, coulés creux et remplis ultérieurement de plomb. Avec ce dernier dispositif, on obtient des moulages sains avec moins de précautions.

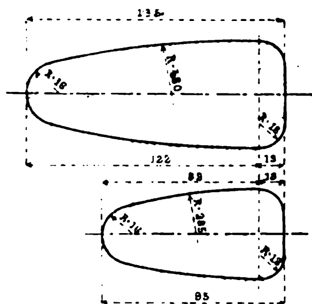


Fig. 13. — Rais pour roues motrices. Sections près du moyeu et près de la jante.

Les rais doivent être espacés de 30 à 35 centimètres, afin de bien résister au serrage du bandage; de plus, nous avons dit que leur nombre devait être impair. D'après cela, on recommande les dispositions suivantes :

Diamètre du centre de roue	Nombre de rais
de $1^m,000$ à $1^m,250$	11
$1^m,250$ à $1^m,450$	13
$1^m,450$ à $1^m,700$	15
$1^m,700$ à $1^m,900$	17
$1^m,900$ à $2^m,000$	19

La section du rai doit être telle que la matière soit

reportée le plus possible dans le plan du cercle de roulement du bandage (Voir *fig.* 13).

Bandages. — Les bandages sont faits en acier tenant de 0,5 à 0,7 p. 100 de carbone. La largeur est de 140 millimètres et l'épaisseur au roulement de 89 millimètres. La différence entre le diamètre de la jante et le diamètre intérieur du bandage (différence produisant le serrage) est généralement de 1 millimètre par mètre de diamètre du centre de roue lorsque celui-ci est inférieur à 1^{m},680, et de 1^{mm},35 par mètre de diamètre au-dessus de 1^{m},680.

Le mode de fixation du bandage sur le centre de roue varie beaucoup suivant les réseaux : les uns (comme le *New York Central and Hudson River R. R.* et le *Baltimore and Ohio R. R.*) emploient des cercles boulonnés ou rivés sur le centre de roue, et pénétrant dans une rainure circulaire du bandage. Au *Pennsylvania R. R.*, le bandage est maintenu à l'intérieur par des segments rivés sur le centre de roue, et à l'extérieur par un épaulement de 3^{mm},2 de hauteur et 9^{mm},5 d'épaisseur. D'autres réseaux n'emploient aucun mode d'attache, au moins pour les roues de diamètre inférieur à 1^{m},90. Une discussion engagée sur ce sujet au Congrès de 1906 de la « Master Mechanics' Association » n'a donné aucun résultat.

Essieux. — Les essieux sont toujours faits en acier forgé.

Au *Baltimore and Ohio R. R.*, on recommande aux aciéries de rechercher la composition suivante :

C =	0,40 p. 100
Mn =	0,60
Si =	0,10
P	0,03
S <	0,03
Cu <	0,03

et les essieux sont refusés : 1° si les essais chimiques donnent l'un des résultats suivants :

C < 0,35 p. 100
C > 0,55
Mn > 0,70
P > 0,05
S > 0,04

et 2° si la résistance à la traction est inférieure à 56kg,5 par millimètre carré.

A l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry*, les spécifications chimiques sont les suivantes :

C < 0,50 et > 0,35 p. 100
Mn < 0,60 et > 0,40
P < 0,04
S < 0,05

La pression de calage des roues motrices sur les essieux est généralement de 90 à 110 tonnes. Au *Baltimore and Ohio R. R.*, on spécifie que, pendant le calage du dernier pouce ($0^m,0254$) de longueur de la portée de l'essieu, la pression de calage doit être supérieure à $6^t,5$ et inférieure à 9 tonnes par pouce ($0^m,0254$) de diamètre de la portée (soit $2^t,560$ à $3^t,545$ par centimètre de diamètre) : comme les portées de calage des essieux américains ont le plus souvent 10 pouces ($0^m,254$) ou 11 pouces ($0^m,280$) de diamètre, on voit que les limites sont de 65 tonnes à 90 tonnes dans le premier cas, et de $71^t,5$ à 99 tonnes dans le second.

Nous étudierons, à propos des machines compound, les divers types d'essieux coudés actuellement expérimentés en Amérique.

Graissage. — 1° Les *cylindres* et *tiroirs* sont toujours lubrifiés au moyen d'une huile spéciale dite « valve oil ». On admet que l'on obtient un graissage convenable en

consommant une « pint » d'huile ($0^{lit},473$) pour 70 milles aux trains de marchandises et 80 milles aux trains de voyageurs ; c'est-à-dire que, pour 100 kilomètres de parcours, on dépense, pour le graissage des cylindres et tiroirs seulement, $0^{lit},418$ d'huile aux trains de marchandises et $0^{lit},367$ aux trains de voyageurs.

On emploie uniquement, pour effectuer ce graissage, les appareils à goutte visible (« sight feed lubricator ») du genre Michigan, Detroit, Nathan, etc., bien connus en France. On a essayé plusieurs graisseurs mécaniques, mais ils ont été reconnus inférieurs aux appareils précédents, qui donnent toute satisfaction à condition que les mécaniciens les surveillent, ce qui n'est peut-être pas toujours réalisé.

2° Pour le *mécanisme*, on emploie généralement l'huile dite « galena oil » ; elle est utilisée dans des godets graisseurs ne présentant aucune disposition nouvelle.

3° Pour les *fusées* (tout au moins celles des essieux moteurs) et les *tourillons* moteurs ou d'accouplement, on tend de plus en plus à *substituer la graisse à l'huile* : on y trouve de multiples avantages.

D'abord, on réduit d'une façon considérable les frais de graissage : d'après des relevés faits à l'*Erie R. R.* sur des machines Atlantic, ces frais seraient de 96,3 centimes pour 1.000 kilomètres avec l'huile contre 7,8 centimes seulement avec la graisse, soit 12 fois moindres qu'avec l'huile. Ces frais comprennent la dépense de graisse pour les boites et les tourillons des quatre roues motrices, et les frais de mise en état des boites et godets graisseurs (main-d'œuvre et matériaux). Au *Chicago and North Western Ry*, on aurait relevé des différences encore plus considérables.

En second lieu, le remplacement de l'huile par la graisse paraît être le seul moyen d'éviter les chauffages des boites qui devenaient de plus en plus fréquents, parce

que le poids des machines par essieu avait augmenté beaucoup plus que la surface frottante des fusées. Au contraire, sur 237 locomotives équipées à la graisse depuis deux ans, on n'a pas eu à relever, sur l'*Erie R. R.*, un seul chauffage de boite. Cet avantage tient évidemment à la plus grande viscosité de la graisse : le lubrifiant doit avoir pour effet d'éviter le contact des surfaces métalliques : avec les pressions par centimètre carré réalisées sur les fusées des machines récentes, l'huile est presque complètement expulsée, et le chauffage s'ensuit fatalement.

Un troisième avantage réside dans l'automaticité de l'action lubrifiante de la graisse, qui ne requiert aucune attention de la part du mécanicien. Un godet graisseur pour tourillon de bielle motrice peut assurer le graissage pendant près de 5.000 kilomètres ! Par suite, on peut effectuer le remplissage des boites des essieux et des godets de bielles uniquement aux dépôts, avec un personnel spécialement affecté à cette opération : on est donc sûr qu'elle est bien exécutée, et l'on évite du même coup les pertes de temps pour graissage en cours de route.

Le seul inconvénient que semble présenter la graisse est d'augmenter la résistance de la machine dans une proportion assez notable. M. F.-J. Deems, « general superintendent of motive power » des *New York Central Lines*, a fait effectuer une série d'expériences sur une machine 4-4-2 du *New-York Central and Hudson River R. R.*, pour déterminer la valeur de cette résistance : ces expériences ont été conduites avec une grande précision au Laboratoire de l'Université de *Purdue*, sous la direction du professeur F. M. Goss ; nous ne donnons ici que la moyenne des résultats obtenus :

Vitesse en km. à l'heure.......	32km,2	80km,5	96km,6
Réduction subie par l'effort de traction par le fait de la substitution de la graisse à l'huile..	185 kg.	490 kg.	455 kg.
Soit une perte de chevaux-vapeur égale à.......................	21,8 HP	143,7 HP	160,2 HP
Sur une puissance totale (en chevaux-vapeur) de.............	400 à 500 HP	700 à 800 HP	800 à 850 HP
A raison de 1kg,8 de charbon par cheval-heure, cette perte représente, par heure de parcours, une consommation supplémentaire de charbon d'environ.........................	40 kg.	260 kg.	290 kg.

En présentant son rapport au Congrès de 1906 de la « Master Mechanics' Association », le professeur Goss s'est exprimé ainsi : « Si une réduction de 1.000 lbs. (453kg,6) sur l'effort de traction est peu de chose pour une machine à marchandises qui développe à la barre d'attelage un effort de 30.000 à 40.000 lbs. (13.600 à 18.100 kilogrammes) à faible vitesse, elle paraît importante sur les machines à voyageurs, qui n'exercent, aux grandes vitesses, qu'un effort de traction de 6.000 à 7.000 lbs. (2.720 à 3.180 kilogrammes). » Les conclusions de ce rapport ont été fortement discutées au Congrès, où plusieurs ingénieurs ont fait remarquer que jamais on n'avait été obligé de réduire le tonnage des trains par suite de la substitution de la graisse à l'huile ; mais il faudrait savoir si l'on n'a pas brûlé plus de charbon. En tout cas, il paraît difficile de discuter les conditions dans lesquelles ont été faites les expériences très précises de Purdue.

On peut donc conclure ainsi : quelle que soit la balance que l'on établisse entre les nombreux avantages et le gros inconvénient (au moins pour les machines express) que la graisse présente par rapport à l'huile, l'emploi de

la graisse devient une *nécessité* dès que l'on augmente la pression supportée par les surfaces frottantes sans accroître proportionnellement leur superficie.

Longerons. — Les châssis américains comportent toujours des *longerons en barres :* les longerons en tôle à l'européenne ne sont livrés par les constructeurs américains que sur commande, et de pareilles spécifications ne se rencontrent que dans les commandes provenant de l'étranger : c'est ainsi qu'en 1905 les ateliers Baldwin construisaient des longerons en tôle pour un lot de 20 locomotives destinées aux chemins de fer australiens.

Le longeron américain typique se compose d'une barre supérieure (« upper rail »), de montants encadrant les cages des boîtes (« pedestals ») et de barres inférieures réunissant les extrémités de ces montants (« lower rail »).

Le longeron se termine généralement à l'avant par une fourche qui est fixée sur les cylindres au moyen de clavettes horizontales et de boulons verticaux ; quand la disposition des tiroirs ou des cylindres ne permet pas d'adopter cette forme, le longeron se termine simplement par une barre fixée sous le support de boîte à fumée. Avec la construction des cylindres et du support de boite à fumée « en trois pièces », usitée au *Pennsylvania R. R.* (Voir plus haut), la disposition est différente : l'extrémité A' du longeron est formée par une plaque verticale que l'on place entre le cylindre et le support de boite à fumée : les boulons qui servent à relier cette dernière pièce au cylindre traversent en même temps la plaque du longeron. Ainsi que nous l'avons dit, cette disposition est défectueuse, en ce que les efforts que supporte le longeron tendent à faire prendre du jeu aux attaches, ce qui amène des fuites de vapeur. On mettra donc à l'essai, en 1907, un nouveau type de longeron ; celui-ci se ter-

minera par une barre fixée uniquement au support de boîte à fumée, et la pièce renfermant le cylindre et la boîte à tiroir portera un évidement de façon à ne pas venir en contact avec le longeron : elle ne sera donc pas affectée par le jeu que pourra prendre celui-ci par rapport au support de boîte à fumée, et par conséquent ce jeu n'entraînera pas de fuites de vapeur.

Les *longerons en fer forgé* sont toujours construits en une seule pièce (ou plutôt les pièces forgées séparément sont ensuite soudées de façon à ne nécessiter aucun assemblage) et ne comportent que des barres. La section de ces barres est un carré dont le côté a successivement été porté à 4 pouces (101mm,6), 4 pouces 1/2 (114mm,3) et 5 pouces (127 millimètres) : les *Harriman Lines*, le *Baltimore and Ohio R. R.*, etc., n'emploient plus que des longerons en barres de 127 millimètres.

Les diverses phases de la fabrication d'un longeron en fer forgé sont les suivantes : on commence par forger l'upper rail, avec des amorces pour souder les montants des cages : on exige, par exemple, que les soudures se trouvent toujours à 15 centimètres (au moins) du point où deux barres se rencontrent dans le dessin du longeron : pour un longeron de machine à 4 essieux couplés, le forgeage de l'upper rail correspond à une journée et demie de travail pour une équipe comprenant un forgeron et six aides (tant au pilon qu'au four). On forge ensuite séparément chacun des montants des cages, avec des amorces pour souder les barres du lower rail. On forge enfin les barres constituant le lower rail. Puis on exécute toutes les soudures : pour le longeron pris comme exemple plus haut, les soudures nécessitent trois journées de travail pour une équipe composée d'un forgeron et de quatre aides.

Aux ateliers de *Schenectady* (*N. Y.*) de l'*American Locomotive C°*, on nous a fourni les chiffres suivants, permettant d'établir le prix d'un longeron en fer forgé :

1° Les *riblons* sont estimés à 1$,75 la tonne;

2° Le travail de *forgeage* des barres revient à 7$,50 la tonne;

3° Le travail de *soudure* est évalué à 54$ pour un longeron à 4 cages en barres de 127 millimètres, à 32$,5 pour un longeron à 3 cages en barres de 127 millimètres, à 27$ pour un longeron à 3 cages en barres de 101^{mm},6.

Si nous considérons un longeron à 4 cages en barres de 127 millimètres, pesant 4 tonnes environ (c'est le longeron ordinaire des machines 2-8-0 actuelles), son prix s'établit ainsi :

Riblons, 4 × 1,75 =	7$,00
Forgeage, 4 × 7,50 =	30$,00
Soudure............	54$,00
TOTAL......	91$,00

soit environ 500 francs pièce.

Depuis cinq ou six ans, on construit de plus en plus les *longerons en acier moulé*. Le plus souvent, on a conservé la forme des longerons en fer forgé. Cependant, certains réseaux ont profité de l'emploi de l'acier moulé : 1° pour modifier notablement la forme primitive, et 2° pour diviser le longeron en plusieurs pièces.

1° La partie du longeron relative aux essieux moteurs n'a pas varié; mais, pour les parties AV et AR, on a le plus souvent substitué aux barres des plaques moins épaisses et beaucoup plus élevées, donnant au châssis une grande rigidité dans le sens vertical, et permettant d'assembler plus facilement les longerons avec les pièces destinées à les entretoiser transversalement. C'est donc un acheminement vers un type de châssis moins différent du châssis en tôle à l'européenne.

2° La pratique de la division du longeron en plusieurs pièces s'est d'abord introduite dans la construction des machines à essieu porteur AR monté sur le même châssis

que les essieux moteurs, où l'on a rapporté des longeron-nets pour placer à l'extérieur les boites de l'essieu porteur. D'un côté, les longeronnets extérieurs à l'Æ permettent d'élargir le cendrier de la machine pour le mettre en rapport avec la largeur de la grille débordante; de plus, les supports sur lesquels repose le cadre du foyer sont plus faciles à disposer avec un châssis élargi de la sorte; enfin ce mode de construction en plusieurs pièces présente l'avantage de simplifier les moulages d'acier et de faciliter les réparations ou remplacements. C'est ce qui explique pourquoi ce procédé tend à se répandre lorsque la disposition des essieux de la machine le permet.

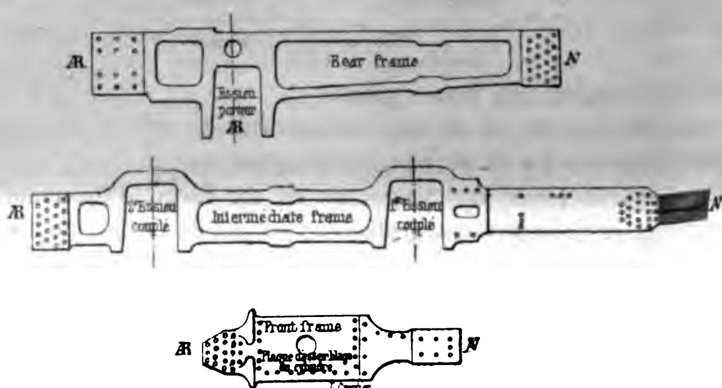


Fig. 14. — Longeron de locomotive Atlantic du P. R. R.

Au *Pennsylvania R. R.*, on construit les longerons de machines Atlantic en trois pièces (Voir *fig.* 14) : la partie Æ (*rear frame*) est relative à l'essieu porteur ; le longeron central (*intermediate frame*) reçoit les boites des deux essieux couplés et la partie N (*front frame*) forme la plaque d'assemblage des cylindres et du support de boite à fumée. Ces longerons partiels se terminent par

des plaques verticales amincies, que l'on réunit entre elles au moyen de boulons.

Le travail de *rectification* se fait suivant la même méthode pour les longerons en acier moulé que pour les longerons en fer forgé ; mais il est peut-être moins important dans ce dernier cas. Cette importance est d'ailleurs très variable suivant les réseaux : quelques-uns exigent que toute la surface des longerons soit rectifiée ; le plus souvent on se contente de rectifier seulement les cages et les parties des barres où viendront s'assembler d'autres pièces. La rectification des faces de longerons qui doivent se trouver parallèles au plan de symétrie de la machine se fait au moyen de raboteuses fixes, sous lesquelles un banc à grand déplacement fait passer le longeron. La rectification des faces des barres perpendiculaires aux précédentes se fait au moyen de grandes mortaiseuses : ces mortaiseuses sont au nombre de 2 ou 3 sur le même banc et possèdent une course suffisante pour pouvoir travailler sur une pile de 6 ou 7 longerons. Signalons qu'on rectifie souvent, de la sorte, un nombre impair de longerons, sans s'inquiéter des défauts de montage que pourrait présenter une machine qui possédera deux longerons provenant d'opérations différentes : on considère les longerons comme absolument interchangeables.

Les longerons en *acier moulé* se sont considérablement répandus dans ces dernières années : aux ateliers de Schenectady, environ 75 p. 100 des locomotives construites en 1905 et 1906 ont des longerons en acier moulé.

L'avantage du longeron en acier moulé est, avant tout, de coûter *beaucoup moins cher* que le longeron en acier forgé, puisqu'on remplace le travail de forgeage par celui du moulage, la différence entre les frais de rectification étant faible, si même elle n'est pas nulle.

Cependant certains réseaux (notamment de *Baltimore and Ohio R. R.*) continuent à n'employer que des longe-

rons en fer forgé : on prétend qu'ils sont sujets à *moins d'avaries* que les longerons en acier moulé. C'est d'ailleurs très discutable ; au *Pittsburg and Lake Erie R. R.*, où l'on n'emploie que des longerons en fer forgé, les ruptures sont néanmoins fréquentes. Le *Pennsylvania R. R.* continue à construire environ 25 p. 100 de ses machines avec des longerons en fer forgé, afin de pouvoir comparer le nombre des ruptures à celles des longerons en acier moulé; jusqu'ici il semble bien que les statistiques fassent ressortir un très léger avantage en faveur du fer forgé, mais on ne peut encore se prononcer nettement.

Il semble donc que les *ruptures des longerons*, si fréquentes en Amérique, soient dues plutôt au dessin adopté pour le châssis qu'à la nature du métal employé. Les ruptures se localisent généralement en deux points : les angles des cages des boîtes motrices et la partie des longerons située au droit de la pièce d'assemblage des glissières des pistons.

On a d'abord cherché à éviter ces inconvénients en augmentant la section courante des barres qui constituent le longeron ; nous avons vu que l'emploi des barres carrées de 127 millimètres tendait à se répandre; au *Lake Shore and Michigan Southern R^y*, les dernières machines 2-[illegible]-2 ont des barres à section rectangulaire, ayant une dimension de $101^{mm},6$ dans le plan du longeron et de 152^{mm}[illegible] dans le sens perpendiculaire.

Les ruptures aux angles des cages ont été réduites en grande partie par un dessin convenable de la bride qui réunit les extrémités inférieures des montants. Le plus souvent on se contente de placer un boulon horizontal réunissant ces extrémités, et passant à l'intérieur d'une pièce cylindrique destinée à les maintenir à l'écartement voulu ; ce boulon prend rapidement du jeu, de sorte que tout se passe comme si la bride n'existait pas : d'où les ruptures aux angles supérieurs des cages. Actuellement

on emploie de plus en plus des brides en acier moulé encadrant complètement les extrémités des montants et boulonnées sur les barres inférieures du longeron (Voir *fig.* 15); ces boulons ne servent qu'à empêcher la bride de tomber; mais la bride seule travaille à maintenir l'écartement des montants. Il est rare que cette pièce prenne du jeu; on peut d'ailleurs la dessiner de façon à rattraper le jeu en inclinant légèrement sur la verticale les faces des extrémités des montants qui pénètrent dans la bride et en donnant le même profil aux logements portés par celle-ci.

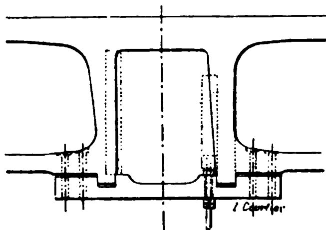


FIG. 15. — Cage de longeron du C.P.R.

La meilleure façon d'éviter les ruptures semble être de donner un grand développement aux pièces en acier moulé destinées à *entretoiser* les longerons, ainsi qu'aux plaques verticales qui entrent dans la constitution de ceux-ci.

Ces deux dispositions ont donné notamment d'excellents résultats sur le réseau du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*. De plus, on a constaté, au *Pennsylvania R. R.*, qu'avec les nouveaux types de longerons les ruptures n'étaient plus localisées toujours aux mêmes points, comme sur les longerons uniquement composés de barres.

Trucks porteurs. — En Amérique, les essieux porteurs sont presque toujours montés sous la forme de trucks mobiles. Ce n'est que sur les machines 4-4-2, à faible empattement, que l'essieu porteur AR est monté sur le même châssis que les essieux moteurs. Par exemple, sur les machines 4-4-2 du *New York Central and Hudson River R. R.*, l'essieu porteur R est simplement monté

avec un jeu latéral de 12mm,7 par rapport à sa position centrale : la machine a ainsi une base rigide de 5m,030 sur un empattement total de 8m,400.

Les trucks A' sont de deux sortes : bogies à 4 roues et bissels à 2 roues. Les bogies sont d'un type à peu près uniforme : généralement on emploie le rappel par bielles inclinées; sur certains réseaux, on ajoute néanmoins un ressort de rappel (Voir Pl. X, *fig.* 4 à 6). Il faut également signaler le mode de suspension bien connu des bogies américains, égalisant les pressions sur les 2 essieux.

Les bissels A' sont presque toujours montés avec rappel par bielles triangulaires. Nous donnons comme exemple le bissel monté à l'avant des machines 2-6-2 du *Lake Shore and Michigan Southern Ry* (Voir Pl. IX, *fig.* 1 à 3) : ce truck comporte un déplacement latéral de 88mm,9 de chaque côté de la position médiane; un bissel à peu près identique est adopté pour les machines 2-8-0 du même réseau.

Les trucks porteurs .R à un essieu sont de deux types : essieux à boites radiales et bissels. Ils se rencontrent notamment sur les machines 4-6-2 et 2-6-2, dont l'empattement est toujours trop grand pour que l'on puisse placer un essieu porteur rigide à l'arrière. De plus, sur certaines locomotives 4-4-2, où l'on a reporté l'essieu .R très loin des roues motrices, on a également été obligé de le monter en truck mobile.

Telle est, par exemple, la disposition adoptée sur les machines 4-4-2 du *Pennsylvania R. R.*, où l'essieu porteur .R est à 5m,825 de l'essieu moteur A' : on emploie sur ces machines un essieu à boites radiales, avec rappel par bielles inclinées (Voir Pl. X, *fig.* 1 à 3). Un essieu radial analogue constitue le truck .R des premières séries de machines 2-6-2 du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*.

Le type de truck .R le plus répandu est le *bissel à boîtes extérieures*, employé, par exemple, sur les nouvelles machines 4-6-2 du *Baltimore and Ohio R.R.* (Voir Pl. IX, *fig.* 4 à 6) : le rappel se fait au moyen de ressorts agissant sur un prolongement du châssis du bissel, situé derrière l'essieu. Ce type de bissel est presque uniformément adopté pour les machines 4-6-2 de tous les réseaux (les Harriman Lines emploient au contraire un bissel à boîtes intérieures); le même truck a été placé à l'arrière des dernières séries de machines 2-6-2 du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*. Sur ce dernier réseau, le déplacement latéral est de 88mm,9 de chaque côté de la position médiane; les ressorts de rappel sont constitués de la façon suivante : chacun d'eux comporte deux ressorts concentriques enroulés en sens inverse, et répondant aux données ci-contre :

	Ressort extérieur	Ressort intérieur
Hauteur à l'état de tension nulle.......	483mm	515mm
Hauteur à l'état de compression totale.	241mm	235mm
Hauteur sous la charge initiale........	273mm	273mm
Charge initiale......................	1.775 kg.	637 kg.
Diamètre des spires à l'état de tension nulle..............................	203mm,5	140mm
Diamètre du fil.....................	25mm,5	16mm

Ce type de truck .R a l'avantage de posséder une très faible hauteur verticale, ce qui permet de le loger facilement sous le châssis des machines.

Les ingénieurs américains attachent une grande importance à l'emploi de *boîtes extérieures* pour les trucks .R : d'une part, elles sont plus faciles à inspecter et à entretenir; d'autre part, elles donnent une grande douceur au roulement de la machine.

Dispositions d'ensemble de la locomotive. — A l'avant des longerons on fixe, au moyen de clavettes et de boulons, une barre qui est reliée à la traverse A' : celle-ci porte le

locomotives express, parce que l'on a porté la capacité des caisses à eau à 34 mètres cubes, ce qui aurait nécessité, avec le type Vanderbilt, une caisse cylindrique de trop grande longueur. L'*Erie R. R.* vient d'adopter le tender Vanderbilt pour ses locomotives à marchandises.



Fig. 16. — Tender Vanderbilt.

RÉSEAU	SERVICE	TYPE de la locomotive	EAU	CHARBON	POIDS en charge
			m. c.	tonnes	tonnes
New York Central and Hudson River R. R.	Express	4-4-2	22,7	9	56
Pennsylvania R. R.	»	»	20,8	11,5	60
Erie R. R.	»	»	32,2	14,5	74
Chicago Burlington and Quincy Ry	»	»	22,7	11	54,5
Chicago Rock Island and Pacific Ry	»	»	26,5	11	65
Lake Shore and Michigan Southern Ry	»	2-6-2	30,2	13,5	72,5
New York Central and Hudson River R. R.	»	4-6-2	22,7	9	57,5
Erie R. R.	»	»	32,2	14,5	74
Southern Pacific	»	»	34,0	9	72
Chicago Burlington and Quincy Ry	»	»	22,7	11	54,5
Northern Pacific	»	»	22,7	11	58
Chicago Burlington and Quincy Ry	Marchandises	2-6-2	30,2	12	67
Pennsylvania R. R.	»	2-8-0	26,5	12	64
Lake Shore and Michigan Southern Ry	»	»	28,4	11	63,5
Southern Pacific (*)	»	»	26,5	12,5	61
Northern Pacific	»	2-8-2	30,2	11	67
Atchison Topeka and Santa Fe Ry	»	2-10-2	32,2	12,5	72
Baltimore and Ohio R. R.	Renfort	(0-6-0)(0-6-0)	26,5	14,5	65
Pennsylvania R. R. (**)	Triage	0-6-0	20,8	10	60
Southern Pacific (**)	»	»	15,1	5,5	38,5
Lake Shore and Michigan Southern Ry	»	0-10-0	30,2	11	67

(*) Tender Vanderbilt.
(**) « Sloping tank ».

Nous donnons ci-contre les caractéristiques des tenders d'un certain nombre de locomotives construites en 1905 et 1906.

Prix des locomotives. — Les locomotives ne sont pas payées au poids, mais à un prix forfaitaire comprenant le tender. Les locomotives 4-4-2 du *Pennsylvania R. R.* pesant 74 tonnes à vide, avec un tender de 27^{t},5, et représentant à vide un poids total de 101,5 (locomotive et tender), valent de 16.000 à 17.000 dollars, soit 83.000 à 88.000 francs. Les machines 2-8-0 construites, en 1906, pour les *New York Central Lines*, pesant à vide 93^{t},5, avec un tender de 25 tonnes (poids total à vide, locomotive et tender : 118^{t},5), sont payées 18.000 dollars, soit 93.500 francs.

II.

EMPLOI DES DIFFÉRENTS TYPES DE LOCOMOTIVES.

1° **Locomotives à 2 essieux couplés.** — Les machines du type 4-4-0 ne se rencontrent plus guère, en Amérique, que sur les lignes où circulent des trains particulièrement légers; la présence de roues motrices de grand diamètre à l'arrière rend impossible l'emploi de la grille large, sauf sur les machines à anthracite où le foyer n'a pas de profondeur. Les locomotives 4-4-0 sont donc toujours des machines relativement peu puissantes. Au *Pennsylvania R. R.*, leur emploi s'est néanmoins conservé pour tous les trains de grande banlieue de la ligne de New-York à Philadelphie, Baltimore et Washington; l'avantage de ces locomotives est de coûter (tender compris) 67.500 francs environ, tandis que les machines 4-4-2

coupleur automatique et le « pilot » destiné à écarter les obstacles qui se trouveraient sur la voie.

Les longerons sont entretoisés d'abord par le support de boîte à fumée et la traverse R; de plus, on dispose généralement une ou deux entretoises en acier moulé, qui tendent à prendre, comme nous l'avons dit, une importance de plus en plus grande. Les glissières des crosses de pistons sont le plus souvent supportées par une pièce unique (« guide yoke ») entretoisant également les longerons, et pour laquelle on tend à substituer l'acier moulé au fer forgé.

La chaudière est fixée à l'avant par la boîte à fumée boulonnée sur la selle; à l'arrière, elle repose librement, par le cadre du foyer, sur des supports fixés aux longerons ou à la traverse R, permettant la dilatation du foyer et du corps cylindrique. Ce dernier est généralement supporté, en trois ou quatre points intermédiaires, par des tôles transversales flexibles qui n'entravent en rien sa dilatation. Ces tôles sont fixées soit sur les longerons, soit sur les entretoises du châssis.

Enfin, les machines américaines sont toujours munies du frein automatique à air comprimé (sur les roues couplées seulement), — d'un sifflet pour les signaux en pleine voie, — et d'une cloche pour la traversée des stations. Cette cloche est généralement munie d'un petit piston à air comprimé, qui en entretient automatiquement le mouvement dès que le mécanicien l'a ébranlée.

Tenders. — Les tenders américains ont toujours une capacité bien supérieure à celle des tenders européens, en vue d'effectuer de longs parcours sans ravitaillement; on adopte le plus souvent des caisses à eau de 6.000 ou 7.000 gallons (22^{m3},7 ou 26^{m3},5) (*), et la charge de char-

(*) Il s'agit de gallons américains et non de gallons anglais. — Les charges de combustible sont données en tonnes métriques.

bon est en général de 11 tonnes. Cependant plusieurs réseaux (notamment l'*Erie R. R.*) ont adopté des tenders de 8.500 gallons (32^{m3},2) avec 14^t,5 de charbon ; la capacité des caisses à eau a même été portée, en 1906, à 9.000 gallons (34 mètres cubes) sur les locomotives express des *Harriman Lines*.

Les tenders américains sont toujours montés sur bogies : ceux-ci ne diffèrent pas des bogies adoptées pour les wagons de grande capacité.

Afin d'obtenir une meilleure répartition de la charge lorsque les approvisionnements s'épuisent, et dans le but d'abaisser le centre de gravité du tender, on prolonge généralement les caisses à eau sous les soutes à charbon : c'est le type de tender dit « water-bottom ». Il faut aussi noter une tendance très marquée à allonger le plus possible les tenders, toujours dans le but d'obtenir une stabilité plus grande, en combinant l'abaissement du centre de gravité avec l'augmentation de l'empattement.

Pour les locomotives de triage et de manœuvre, qui sont toujours des machines à tender séparé, on adopte des caisses à eau dont la paroi est inclinée vers l'arrière (sloping tank), de façon à ne pas gêner la vue du mécanicien lorsque la machine circule tender en avant.

Le seul tender original est le *tender Vanderbilt;* dans ce tender, la caisse à eau est cylindrique, et le charbon se trouve dans une trémie placée au-dessus (Voir *fig.* 16) ; avec cette disposition, la construction de la caisse à eau est moins coûteuse, — le charbon est plus à la portée du chauffeur, — la charge sur les bogies est bien répartie lorsque les approvisionnements s'épuisent, — et surtout les trucks sont plus accessibles pour l'inspection et les réparations. Ce tender a été essayé par plusieurs réseaux ; il ne s'est répandu que sur les *Harriman Lines*, où toutes les locomotives construites de 1903 à 1905 en sont munies ; en 1906, on y a renoncé pour les

locomotives express, parce que l'on a porté la capacité des caisses à eau à 34 mètres cubes, ce qui aurait nécessité, avec le type Vanderbilt, une caisse cylindrique de trop grande longueur. L'*Erie R. R.* vient d'adopter le tender Vanderbilt pour ses locomotives à marchandises.

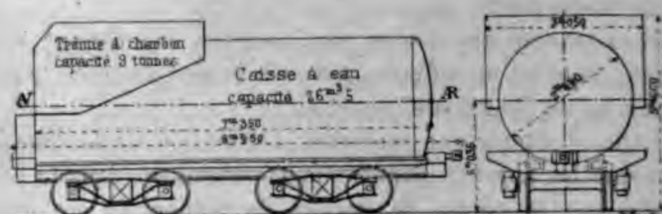


Fig. 16. — Tender Vanderbilt.

RÉSEAU	SERVICE	TYPE de la locomotive	EAU	CHARBON	POIDS en charge
			m. c.	tonnes	tonnes
New York Central and Hudson River R. R.	Express	4-4-2	22,7	9	56
Pennsylvania R. R.	»	»	20,8	11,5	60
Erie R. R.	»	»	32,2	14,5	74
Chicago Burlington and Quincy Ry	»	»	22,7	11	54,5
Chicago Rock Island and Pacific Ry	»	»	26,5	11	65
Lake Shore and Michigan Southern Ry	»	2-6-2	30,2	13,5	72,5
New York Central and Hudson River R. R.	»	4-6-2	22,7	9	57,5
Erie R. R.	»	»	32,2	14,5	74
Southern Pacific	»	»	34,0	9	72
Chicago Burlington and Quincy Ry	»	»	22,7	11	54,5
Northern Pacific	»	»	22,7	11	58
Chicago Burlington and Quincy Ry	Marchandises	2-6-2	30,2	12	67
Pennsylvania R. R.	»	2-8-0	26,5	12	64
Lake Shore and Michigan Southern Ry	»	»	28,4	11	63,5
Southern Pacific (*)	»	»	26,5	12,5	61
Northern Pacific	»	2-8-2	30,2	11	67
Atchison Topeka and Santa Fe Ry	»	2-10-2	32,2	12,5	72
Baltimore and Ohio R. R.	Renfort-Triage	(0-6-0)-(0-6-0)	26,5	14,5	65
Pennsylvania R. R. (**)	»	0-6-0	20,8	10	60
Southern Pacific (**)	»	»	15,1	5,5	38,5
Lake Shore and Michigan Southern Ry	»	0-10-0	30,2	11	67

(*) Tender Vanderbilt.
(**) « Sloping tank ».

Nous donnons ci-contre les caractéristiques des ...ders d'un certain nombre de locomotives construite... 1905 et 1906.

Prix des locomotives. — Les locomotives ne sont payées au poids, mais à un prix forfaitaire compre... le tender. Les locomotives 4-4-2 du *Pennsylvania R...* pesant 74 tonnes à vide, avec un tender de 27^t, représentant à vide un poids total de 101.5 (locom... et tender), valent de 16.000 à 17.000 dollars, 83.000 à 88.000 francs. Les machines 2-8-0 constru... en 1906, pour les *New York Central Lines*, pesant à 93^t,5, avec un tender de 25 tonnes (poids total à ... locomotive et tender : 118^t,5), sont payées 18.000 ...lars, soit 93.500 francs.

II.

EMPLOI DES DIFFÉRENTS TYPES DE LOCOMOTIVES.

1° Locomotives à 2 essieux couplés. — Les mach... du type 4-4-0 ne se rencontrent plus guère, en Amér...que sur les lignes où circulent des trains particulière... légers; la présence de roues motrices de grand diam... à l'arrière rend impossible l'emploi de la grille l... sauf sur les machines à anthracite où le foyer n'... de profondeur. Les locomotives 4-4-0 sont donc tou... des machines relativement peu puissantes. Au *Penn...sylvania R. R.*, leur emploi s'est néanmoins conservé ... tous les trains de grande banlieue de la ligne de N... York à Philadelphie, Baltimore et Washington; l'a...chat ... de ces locomotives est de coûter tender com... 6... -...500 francs environ, tandis que les machines

valent de 83.000 à 88.000 francs. Nous faisons figurer, à côté des dimensions de ces locomotives, celles des machines 4-4-0 adoptées pour la traction de certains trains légers sur le *Central Railroad of New Jersey* : elles sont munies de foyers Wootten, et brûlent de l'anthracite. A titre de comparaison, nous en rapprochons les plus puissantes locomotives 4-4-0 qui aient été construites en France : ce sont les machines 2161-2180 du *Nord*, qui ont précédé immédiatement sur ce réseau les machines Atlantic (4-4-2).

RÉSEAU	P. R. R.	C. R. R. N. J.	NORD
Série	D. 16. d.	»	2161
Date	1902	1906	1898
Timbre	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$	15^{kg}
Surface de grille	$3^{m2},10$	$7^{m2},67$	$2^{m2},30$
Diamètre minimum du corps cylindrique	$1^{m},490$	$1^{m},580$	$1^{m},350$
Tubes. — Nombre	310	280	107 (**)
— Longueur	$3^{m},470$	$3^{m},810$	$3^{m},900$
— Diamètre extérieur	$45^{mm},3$	$50^{mm},8$	70^{mm}
Surface de chauffe { du foyer	$15^{m2},65$	$15^{m2},80$	$11^{m2},78$
Surface de chauffe { des tubes	163^{m2}	$172^{m2},70$	$167^{m2},45$
Surface de chauffe { totale	$178^{m2},65$	$188^{m2},50$	$179^{m2},23$
Diamètre des cylindres	470^{mm}	482^{mm}	340^{mm} et 530^{mm} (***)
Course des pistons	660^{mm}	660^{mm}	640^{mm}
Diamètre des roues motrices	$2^{m},030$	$1^{m},750$	$2^{m},114$
Empattement total	$6^{m},930$	$7^{m},050$	$7^{m},330$
Poids total (*)	$62^{t},5$	$71^{t},5$	$52^{t},4$
Poids adhérents	$42^{t},5$	49^{t}	$32^{t},4$

(*) Dans tout ce qui va suivre, le poids adhérent et le poids total devront être entendus de la machine en charge et non pas à vide ; ces poids sont exprimés en tonnes métriques et non en tonnes américaines de 907 kilogrammes.

(**) Tubes Serve à ailerons.

(***) Compound à 4 cylindres.

En dehors de ces cas spéciaux, le type de machine à 2 essieux couplés uniformément adopté en Amérique est le type *Atlantic* (4-4-2) ; la présence de l'essieu porteur AR permet d'élargir la grille et de construire une machine assez puissante pour remorquer, sur profil facile, les trains de voyageurs les plus lourds qui circulent actuellement sur les lignes américaines.

Lorsqu'on a été conduit à construire des locomotives à grande vitesse plus puissantes, on s'est borné, en Amérique, à augmenter les dimensions des locomotives Atlantic sans se laisser arrêter par l'élévation des charges par essieu : avec deux essieux couplés, elles ont le même poids adhérent que les plus puissantes machines européennes à 3 essieux couplés du type 4-6-0. La charge par essieu moteur atteint jusqu'à 27t,5. On conçoit donc que, dans ces conditions, certains réseaux, comme le *New York Central and Hudson River R. R.* et le *Pennsylvania R. R.*, n'emploient que ce type de locomotives pour la traction de leurs express même très lourds (jusqu'à 600 tonnes). Toutefois, si ces machines conviennent parfaitement aux trains effectuant de longs parcours sans arrêts, elles sont beaucoup moins bien adaptées à la traction des trains à arrêts fréquents, parce que leur adhérence est insuffisante pour obtenir une accélération rapide au démarrage avec les tonnages élevés qu'atteignent couramment les trains de voyageurs aux Etats-Unis : il est rare de voir démarrer une machine Atlantic sans constater un patinage parfois très prolongé.

Nous donnons ci-dessous les dimensions des locomotives 4-4-2 du *New York Central and Hudson River R. R.*, et du *Pennsylvania R. R.* (Voir Pl. XI, *fig.* 1) : ce sont les deux réseaux qui ont le plus généralisé l'emploi de ce type de machines : sur leurs grandes lignes, tous les trains de voyageurs de grand parcours sont remorqués par ces locomotives. Nous en rapprochons, d'une part, la machine 4-4-2, avec foyer Wootton à anthracite, du *Philadelphia and Reading Ry*, qui réalise, entre Philadelphie et Atlantic City, les vitesses les plus élevées que l'on ait à enregistrer, *en service régulier*, sur l'ensemble des chemins de fer du globe, — et, d'autre part, les locomotives 3001 du *P.-O.*, afin de mieux faire ressortir la grande puissance des machines américaines.

RÉSEAU	N.Y.C. & H. R.	P. R. R.	P. & R.	P.-O.
Série	L. d.	E. 3. a.	»	3001
Date	1905	1905	1905	1904
Timbre	$14^{kg},1$	$14^{kg},5$	$15^{kg},8$	16^{kg}
Surface de grille	$4^{m2},73$	$5^{m2},20$	$7^{m2},30$	$3^{m2},10$
Diamètre minimum du corps cylindrique	$1^{m},800$	$1^{m},670$	»	$1^{m},510$
Tubes. — Nombre	390	315	322	139 (*)
— Longueur	$4^{m},880$	$4^{m},580$	$5^{m},200$	$4^{m},400$
— Diamètre extérieur	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$	$56^{mm},8$	70^{mm}
Surface de chauffe — du foyer	17^{m2}	$15^{m2},65$	17^{m2}	$16^{m2},20$
Surface de chauffe — des tubes	307^{m2}	232^{m2}	260^{m2}	$223^{m2},20$
Surface de chauffe — totale	324^{m2}	$247^{m2},65$	277^{m2}	$239^{m2},50$
Diamètre des cylindres	5[illegible]2mm	560mm	5[illegible]3mm	360mm et 600mm (**)
Course des pistons	660mm	660mm	610mm	640mm
Diamètre des roues motrices	$2^{m},000$	$2^{m},030$	$2^{m},140$	$2^{m},000$
Empattement total	$8^{m},400$	$9^{m},370$	$8^{m},100$	$8^{m},700$
Poids total	80^{t}	83^{t}	$86^{t},5$	73^{t}
Poids adhérent	43^{t}	$53^{t},5$	$42^{t},5$	$35^{t},0$

(*) Tubes Serve à ailerons.
(**) Compound à 4 cylindres.

2° **Locomotives à 3 essieux couplés.** — Les machines à 3 essieux couplés sont destinées soit à la traction des trains de marchandises, soit à la traction des trains de voyageurs.

A. — Pour la remorque des *trains de marchandises*, on employait fréquemment, jusque vers 1900, les locomoti[ves] *Mogul* (2-6-0), qui ne subsistent guère aujourd'hui que [sur] les lignes secondaires. Pour les trains de marchandi[ses] ordinaires, dits *slow freight trains*, on leur a substit[ué] partout des machines à 4 essieux couplés que nous é[tu]dierons plus loin. Mais on a généralement conservé [les] locomotives à 3 essieux couplés pour la traction des trai[ns] de marchandises accélérés (*fast freight trains*), serva[nt] au transport du bétail, et des wagons réfrigérés pour fruit[s], viande, poissons, etc.

Ce service est généralement assuré au moyen de machines du type 4-6-0 ; ces mêmes locomotives, qui remorquent les « fast freight trains » sur les lignes principales, sont d'ailleurs souvent utilisées, sur les lignes secondaires, pour assurer le service de tous les trains, depuis

les « slow freight trains » jusqu'aux trains de voyageurs. Le diamètre des roues motrices de ces machines est généralement de 1m,600, ce qui permet d'employer une grille large sans réduire outre mesure la profondeur du foyer. Tel est notamment le cas des machines 4-6-0 si répandues sur les réseaux du *Canadian Pacific Ry* et du *Chicago Rock Island and Pacific Ry*.

Plusieurs Compagnies ont substitué au type 4-6-0, pour le service des « fast freight trains », le type *Prairie* (2-6-2). Dans ce dernier, la présence, à l'arrière, d'un essieu porteur à roues de faible diamètre, permet de donner au foyer à grille large, une profondeur supérieure à celle que comportent les machines 4-6-0, et d'éviter ainsi les inconvénients des foyers peu profonds : mauvaise combustion, détérioration rapide de la plaque tubulaire, fuites aux entretoises et à la tubulure.

Le type 2-6-2 paraît avoir été imaginé vers 1900 par Mr. F. H. Clark, alors « mechanical engineer » du *Chicago Burlington and Quincy Ry*; depuis cette époque, ce réseau en a fait construire un très grand nombre. Nous donnons plus loin les dimensions de la dernière série de ces machines, construites en 1906. Dès 1901, l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* a expérimenté le type 2-6-2, et a fait construire plusieurs séries de machines de ce type suivant le système compound Woolf-Vauclain à cylindres superposés ; actuellement, une nouvelle série de machines 2-6-2 est en construction aux ateliers Baldwin ; mais on appliquera sur ces locomotives le système compound à quatre cylindres séparés que nous étudierons plus loin. Le *Great Northern Ry* a mis à l'essai, en 1905, sur sa grande ligne une machine 2-6-2 du *Chicago Burlington and Quincy Ry*, et les expériences ont été tellement concluantes que ce réseau et celui du *Northern Pacific R. R.* font construire en 1906 un lot très important de machines analogues.

Le seul inconvénient que présente le type 2-6-2 comparé au type 4-6-0 provient de ce que deux bissels à un essieu représentent un ensemble légèrement plus compliqué qu'un bogie à deux essieux. C'est pour cette raison qu'après avoir envisagé la possibilité de faire construire des machines 2-6-2, le *New York Central and Hudson River R. R.* a conservé le type 4-6-0 pour les machines récemment construites, et destinées à assurer la traction des « fast freight trains » sur la grande ligne, ainsi que le service des trains de voyageurs spéciaux à fort tonnage, dit trains d'excursion, mis en marche pendant l'été. Comme le diamètre des roues atteint $1^m,750$, le foyer est alors très peu profond, et certains ingénieurs estiment qu'il eût été préférable de recourir au type 2-6-2.

RÉSEAU	C. P. R.	C. R. I. & P.	C. B. & Q.	G. N.	N. Y. C. & H. R.
Type	4-6-0	4-6-0	2-6-2	2-6-2	4-6-0
Série	1300	D-32	R-5	1500	»
Date	1903	1905	1906	1906	1905
Timbre	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$	$14^{kg},8$	$14^{kg},8$	$14^{kg},1$
Surface de grille	$4^{m2},70$	$4^{m2},22$	$5^{m2},10$	$5^{m2},00$	$5^{m2},45$
Diamètre minimum du corps cylindrique	$1^m,780$	$1^m,725$	$1^m,780$	$1^m,830$	$1^m,880$
Tubes. — Nombre	378	329	301	301	400
— Longueur	$4^m,450$	$4^m,320$	$5^m,800$	$5^m,650$	$5^m,550$
— Diamètre extérieur	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$	57^{mm}	57^{mm}	$50^{mm},8$
Surface de chauffe — du foyer	17^{m2}	15^{m2}	$21^{m2},50$	$19^{m2},50$	19^{m2} (**)
Surface de chauffe — des tubes	271^{m2}	228^{m2}	315^{m2}	307^{m2}	292^{m2}
Surface de chauffe — totale	288^{m2}	243^{m2}	$336^{m2},50$	$326^{m2},50$	311^{m2}
Diamètre des cylindres	560^{mm} et 890^{mm} (*)	560^{mm}	560^{mm}	560^{mm}	560^{mm}
Course des pistons	760^{mm}	660^{mm}	710^{mm}	760^{mm}	660^{mm}
Diamètre des roues motrices	$1^m,600$	$1^m,600$	$1^m,750$	$1^m,750$	$1^m,750$
Empattement total	$7^m,950$	$8^m,100$	$9^m,365$	»	$8^m,180$
Poids total	86^t	79^t	98^t	95^t	88^t
Poids adhérent	$64^t,5$	$59^t,5$	$72^t,5$	$68^t,5$	67^t

(*) Compound à deux cylindres.
(**) Y compris $2^{m2},48$ de tubes d'eau dans le foyer.

B. — Les machines à 3 essieux couplés destinés à la traction des express sur les lignes principales étaient peu répandues en Amérique jusqu'à ces dernières années : cela tient, d'une part, à ce que les poids limites, par essieu, admis pour les machines 4-4-2, leur donnaient une adhé-

:e suffisante pour la traction des express même très ds, et, d'autre part, à ce que l'emploi du type 4-6-0 à s de grand diamètre est incompatible avec l'adop- de la grille large : il est donc impossible de monter des machines de ce type des chaudières aussi puis- es que celles des dernières locomotives 4-4-2. Néan- ns, les machines 4-6-0, à roues de grand diamètre et ille étroite, assurent encore en partie la traction des ns de voyageurs sur les grandes lignes du *Canadian ific Ry* et du *Lake Shore and Michigan Southern Ry* : ce dernier réseau, on n'a jamais employé de locomo- s Atlantic (4-4-2), et, lorsque les anciennes machines 0 sont devenues insuffisantes, on leur a immédiate- it substitué des locomotives 4-6-0, bien que la grande e Buffalo-Cleveland-Chicago possède un profil dépourvu léclivités. Nous donnons ici les dimensions de la der- re série de ces machines, remontant à 1900, et nous rapprochons, à titre de comparaison, celles des loco- tives express, type 4-6-0, du *P.-L.-M.*

RÉSEAU	L. S. & M. S.	P.-L.-M.
Série	F-52	2601
Date	1900	1904
Timbre	14^{kg},1	16^{kg}
Surface de grille	3^{m2},44	3^{m2},00
Diamètre minimum du corps cylindrique	1^{m},645	1^{m},500
Tubes. — Nombre	343	138 (*)
— Longueur	4^{m},575	4^{m},000
— Diamètre extérieur	50^{mm},8	70^{mm}
Surface de chauffe du foyer	19^{m2}	15^{m2},40
Surface de chauffe des tubes	250^{m2}	205^{m2},75
Surface de chauffe totale	269^{m2}	221^{m2},15
Diamètre des cylindres	510^{mm}	340^{mm} et 540^{mm} (**)
Course des pistons	710^{mm}	650^{mm}
Diamètre des roues motrices	2^{m},060	2^{m},000
Empattement total	8^{m},400	8^{m},530
Poids total	78^{t}	70^{t},7
Poids adhérent	61^{t}	50^{t},5

(*) Tubes Serve à ailerons.
(**) Compound à 4 cylindres.

C'est de 1903 seulement que date la rapide extension prise, en Amérique, par les machines à 3 essieux couplés pour la remorque des express lourds, sous la forme du type *Pacific* (4-6-2), qui s'est substitué tout récemment au type Atlantic (4-4-2) sur de nombreux réseaux. D'après Mr. Vauclain, ingénieur en chef des ateliers Baldwin, le type Pacific aurait été employé pour la première fois à titre d'essai sur le *Chicago and Alton Ry* en 1898. Plusieurs réseaux firent construire quelques machines de ce type en 1901 et 1902, et c'est en 1903 que les *Harriman Lines* adoptèrent d'une façon générale des locomotives 4-6-2 pour la traction des express sur la plupart de leurs grandes lignes. Depuis cette époque, de nombreuses Compagnies ont suivi cet exemple : les unes (notamment l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry*) conservent le type 4-4-2 pour les sections de plaine et réservent le type 4-6-2 aux parties plus accidentées de leurs lignes ; les autres, comme le *Baltimore and Ohio R. R.*, l'*Erie R. R.*, l'*Illinois Central R. R.*, etc., ont cessé, en 1906, de faire construire des machines Atlantic, pour généraliser progressivement l'emploi du type Pacific sur toute l'étendue de leurs lignes principales. D'après les ingénieurs de ces derniers réseaux, la locomotive Pacific est parfaitement adaptée à la traction des express lourds; l'élévation du poids adhérent lui donne de grandes facilités de démarrage, permettant une accélération rapide au départ, qualité qui est surtout précieuse pour les express à arrêts fréquents; — la longueur de sa base rigide lui assure une grande stabilité contre le mouvement de lacet, sans lui faire perdre la souplesse qu'elle doit à la présence du bogie à l'avant ; — la disposition des trois essieux moteurs et la longueur de l'empattement permettent de construire une machine très puissante avec un poids par mètre courant de voie inférieur à celui des machines Atlantic. En résumé, la locomotive 4-6-2 peut assurer dans d'excellentes conditions

la traction des express lourds, même aux vitesses les plus élevées, et ses avantages sont particulièrement appréciables sur les lignes où les arrêts sont fréquents et le profil accidenté.

Actuellement, presque tous les réseaux américains, tant principaux que secondaires, possèdent des machines de ce type, et l'engouement qui se manifeste en 1906 en faveur de la locomotive Pacific est au moins aussi remarquable que l'extension rapide prise par le type Atlantic vers 1900; sans doute ce serait une erreur de conclure à la disparition du type Atlantic en Amérique, mais il est certain que, sur une grande partie des lignes où tous les trains de voyageurs étaient remorqués de 1900 à 1905 par des machines Atlantic, celles-ci sont, en 1906, remplacées par des locomotives Pacific. D'ailleurs, l'extension de ces dernières ne s'arrêtera pas là, puisqu'elles conviennent également aux lignes accidentées sur lesquelles les machines Atlantic n'avaient pu être adoptées, et où les machines 4-6-2 se sont substituées ou se substitueront aux locomotives 4-6-0.

Nous donnons comme exemples de machines 4-6-2 les dimensions de celles de l'*Union Pacific* (Voir Pl. XI, *fig.* 3), de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* (Voir Pl. XI, *fig.* 4), des *New York Central Lines* (employées sur les lignes du *Michigan Central R. R.* et du *Boston and Albany R. R.*), du *Baltimore and Ohio R. R.* (Voir Pl. XII, *fig.* 1) et du *Chicago Burlington and Quincy Ry*.

RÉSEAU	U. P.	A. T. & S. F.	N. Y. C.	B & O.	C. B. & Q.
Série	P. 141	1200	K	P	S
Date	1905	1903	1905	1906	1906
Timbre	$14^{kg},1$	$15^{kg},5$	$14^{kg},1$	$12^{kg},9$	$14^{kg},1$
Surface de grille	$4^{m2},65$	$5^{m2},05$	$4^{m2},72$	$5^{m2},30$	$5^{m2},10$
Diamètre minimum du corps cylindrique	$1^{m},780$	$1^{m},780$	$1^{m},800$	$1^{m},830$	$1^{m},780$
Tubes. — Nombre	245	290	303	276	305
— Longueur	$6^{m},100$	$6^{m},100$	$6^{m},100$	$6^{m},100$	$6^{m},400$
— Diamètre extérieur	57^{mm}	$50^{mm},8$	57^{mm}	57^{mm}	57^{mm}
Surface de chauffe — du foyer	$16^{m2},40$	18^{m2}	$19^{m2},40$ (*)	$16^{m2},80$	$18^{m2},80$
Surface de chauffe — des tubes	270^{m2}	320^{m2}	335^{m2}	304^{m2}	352^{m2}
Surface de chauffe — totale	$286^{m2},40$	338^{m2}	$354^{m2},40$	$326^{m2},80$	$370^{m2},80$
Diamètre des cylindres	560^{mm}	572^{mm}	560^{mm}	560^{mm}	560^{mm}
Course des pistons	710^{mm}	710^{mm}	660^{mm}	710^{mm}	660^{mm}
Diamètre des roues motrices	$1^{m},950$	$1^{m},980$	$1^{m},000$	$1^{m},880$	$1^{m},880$
Empattement total	$10^{m},350$	$10^{m},290$	$10^{m},250$	$10^{m},440$	$10^{m},000$
Poids total	$100^{t},5$	98^{t}	$97^{t},5$	104^{t}	100^{t}
Poids adhérent	64^{t}	67^{t}	65^{t}	$68^{t},2$	70^{t}

(*) Y compris $2^{m2},57$ de tubes d'eau dans le foyer.

A côté de cette faveur presque unanime dont jouit le type *Pacific*, il faut noter l'adaptation très intéressante du type *Prairie* (2-6-2) à la traction des express sur le réseau du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*. Nous avons indiqué plus haut que ce réseau avait employé pour ce service des locomotives 4-6-0; en 1900, il parut impossible d'augmenter la puissance des machines de ce type : on fut donc forcé de recourir à une autre disposition. Pour permettre d'élargir la grille, il devenait nécessaire de placer un essieu porteur à l'arrière; à cette époque, on ne parlait pas encore du type Pacific, dont quelques rares exemplaires avaient seulement été construits à titre « expérimental » ; d'autre part, en passant du type 4-6-0 au type 2-6-2, on portait la longueur des tubes de $4^{m},575$ à $5^{m},795$, ce que l'on jugeait alors considérable ; l'adoption du type Pacific eût nécessité des tubes de plus de 6 mètres. La seule objection que l'on pouvait faire à ce type 2-6-2 était l'emploi du bissel à l'avant, alors que, depuis fort longtemps, toutes les locomotives express construites en Amérique étaient munies d'un bogie. Néanmoins, comme

la grande ligne du Lake Shore est composée d'alignements droits d'une régularité remarquable, les machines Prairie se comportèrent parfaitement, même aux plus grandes vitesses, — de sorte que, depuis 1900, toutes les locomotives express construites pour ce réseau sont du type 2-6-2. De 1900 à 1903, on a mis en service 46 machines de ce type; en 1904, lorsqu'on fut amené à construire des locomotives plus puissantes, on jugea inutile de recourir au type 4-6-2, et l'on se contenta d'augmenter progressivement les dimensions du modèle précédent : on construisit ainsi, de 1904 à 1906, 35 locomotives 2-6-2 ne présentant par rapport aux précédentes que des modifications de détail (Voir Pl. XII, *fig.* 2).

Nous donnons ci-dessous les dimensions de la première et de la dernière série de machines, afin de montrer la progression suivie de 1900 à 1906.

RÉSEAU	L. S. & M. S.	L. S. & M. S.
Série	J-40	J-42
Date	1900	1906
Timbre	14^{kg},1	14^{kg},1
Surface de grille	4^{m2},57	5^{m2},20
Diamètre minimum du corps cylindrique	1^{m},645	1^{m},780
Tubes. — Nombre	344	322
— Longueur	5^{m},795	5^{m},900
— Diamètre extérieur	50^{mm},8	57^{mm}
Surface de chauffe — du foyer	17^{m2},85	18^{m2},50
Surface de chauffe — des tubes	320^{m2}	346^{m2}
Surface de chauffe — totale	337^{m2},85	364^{m2},50
Diamètre des cylindres	520^{mm}	545^{mm}
Course des pistons	710^{mm}	710^{mm}
Diamètre des roues motrices	2^{m},000	2^{m},000
Empattement total	9^{m},700	10^{m},450
Poids total	84^{t},5	111^{t}
Poids adhérent	61^{t}	77^{t}

La comparaison entre les types Pacific (4-6-2) et Prairie (2-6-2) donne lieu aux remarques suivantes : le type Prairie a l'avantage : 1° de présenter un rapport plus élevé du poids adhérent au poids total, et 2° de nécessiter des tubes de moindre longueur. En effet, avec les

machines Pacific à roues de 1m,85 à 2 mètres de diamètre, on est obligé d'adopter des tubes de 6m,100, bien que l'on rapproche autant que possible tous les essieux les uns des autres ; il est permis de supposer que la dernière partie de tubes d'une pareille longueur ne donne lieu qu'à une vaporisation négligeable : au *Canadian Pacific Ry*, on aurait constaté que les machines 4-6-2 ne produisent guère plus de vapeur que les machines 4-6-0, dont les chaudières ne présentent de différence que dans la longueur des tubes, qui est de 6m,100 sur les premières et de 4m,450 sur les secondes.

On ne peut reprocher aux locomotives 2-6-2 que la substitution du bissel au bogie à l'avant, ce qui peut paraître critiquable pour les très grandes vitesses : c'est la raison pour laquelle, en dehors du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*, tous les autres réseaux ont adopté le type Pacific, craignant d'avoir des accidents avec le type Prairie. Il est difficile de savoir jusqu'à quel point cette objection est fondée. Ce qui est certain, c'est que, depuis la mise en service des machines Prairie, on n'a jamais relevé, sur le réseau du Lake Shore, d'accidents imputables à ce type de machines : les déraillements ont toujours eu des causes bien déterminées, telles qu'une erreur d'aiguillage par exemple.

Cependant, après les express du *Philadelphia and Reading Ry* ce sont les trains du *Lake Shore and Michigan Southern Ry*, remorqués par ces machines 2-6-2, qui atteignent, entre Buffalo et Chicago, les vitesses les plus élevées. Mais il est nécessaire de tenir compte de la nature exceptionnelle que présente cette grande ligne, composée exclusivement, comme nous l'avons dit plus haut, d'alignements de très grande longueur.

Si l'expérience a prouvé que le bissel était suffisant sur une pareille voie, même aux plus grandes vitesses, il semble bien que le bogie soit nécessaire dès que la ligne

présente des courbes de grand rayon, comme on en rencontre généralement sur les artères principales. C'est ce que tendrait à prouver l'expérience du *Pennsylvania R. R.*; ce réseau a fait construire en 1905, à titre d'essai, deux locomotives 2-6-2 identiques à celles du Lake Shore; d'après les ingénieurs qui ont procédé à la mise en service de ces machines, le mouvement de lacet était tellement accentué que l'on a dû renoncer à les essayer aux très grandes vitesses, de crainte de dérailler.

On pourrait donc conclure, semble-t-il, que la machine Prairie, si bien adaptée au service des trains de marchandises accélérés, n'est apte à circuler, aux très grandes vitesses, que sur des voies exceptionnelles, composées de longs alignements droits; tandis que le type Pacific convient parfaitement au service des express sur les lignes présentant des courbes même fréquentes et accentuées.

Il serait à désirer que les ingénieurs américains, ayant à leur disposition des instruments de mesure aussi perfectionnés que ceux de l'*Université de Purdue* et du laboratoire du *Pennsylvania R. R.* à Altoona (Pa.), entreprissent une série d'expériences comparatives sur les locomotives Prairie et Pacific, afin de se rendre compte spécialement de la stabilité de ces machines aux grandes vitesses, ainsi que de leur résistance au passage des courbes. Il serait en particulier intéressant de monter des appareils enregistreurs sur ces locomotives, et de les faire circuler sur des voies présentant des courbes accentuées, afin d'étudier l'amplitude des mouvements parasites de la machine dans ces conditions. Ceci permettrait d'être mieux fixé sur la valeur respective du bissel à un essieu et du bogie à deux essieux pour les machines à grande vitesse.

3° Locomotives à 4 essieux couplés. — A part quelques cas spéciaux où les *slow freight trains* sont remorqués

par des machines 4-6-0, on peut dire que ce service est presque toujours assuré, en Amérique, par des locomotives à 4 essieux couplés.

En 1900, la plupart des machines à 4 essieux couplés étaient du type 4-8-0 avec bogie à l'avant. Mais, depuis 1901, ce type a été progressivement abandonné, et il ne se construit plus aujourd'hui que des machines à bissel, type 2-8-0 (Consolidation) : il est, en effet, inutile d'adapter un bogie à des machines ne circulant qu'à des vitesses peu élevées, et le type 2-8-0 permet d'obtenir un plus grand rapport du poids adhérent au poids total que sur le type 4-8-0.

Les machines 2-8-0 ont toujours des grilles débordant par-dessus les roues du dernier essieu; comme le diamètre des roues ne dépasse pas 1m,600, la profondeur du foyer est suffisante.

Ces locomotives ont atteint des dimensions considérables au *New York Central and Hudson River R. R.* (Voir Pl. XI, *fig*. 5), au *Lake Shore and Michigan Southern Ry*, au *Baltimore and Ohio R. R.*, et sur les *Harriman Lines*. Au contraire, le *Pennsylvania R. R.* s'est contenté jusqu'ici de machines plus légères; néanmoins ce réseau a mis à l'essai une locomotive analogue à celles des New York Central Lines, afin de juger de l'opportunité qu'il y aurait à augmenter dans ces proportions les dimensions de la machine. Nous rapprochons des locomotives précédentes celles du *Midi*, qui représentèrent en France, la première application du type Consolidation, déjà assez répandu aujourd'hui sur certains de nos réseaux.

RÉSEAU	N. Y. C. & H. R.	B. & O.	S. P.	P. R. R.	MIDI
rie	G. 5. J.	E. 27	C. 187	H. 6. B.	4001
ıte	1906	1906	1905	1906	1902
mbre	$14^{kg},1$	$14^{kg},5$	$14^{kg},1$	$14^{kg},5$	15^{kg}
rface de grille	$5^{m2},30$	$5^{m2},30$	$4^{m2},65$	$4^{m2},60$	$2^{m2},81$
amètre minimum du corps cylindrique	$2^{m},070$	$1^{m},890$	$2^{m},035$	$1^{m},800$	$1^{m},513$
bes. — Nombre	446	282	413	373	148 (**)
— Longueur	$4^{m},730$	$4^{m},825$	$4^{m},570$	$4^{m},200$	$4^{m},300$
— Diamètre extérieur	$50^{mm},8$	57^{mm}	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$	70^{mm}
rface de auffe — du foyer	20^{m2} (*)	$16^{m2},80$	$16^{m2},40$	17^{m2}	$15^{m2},75$
— des tubes	328^{m2}	245^{m2}	307^{m2}	251^{m2}	$240^{m2},45$
— totale	348^{m2}	$261^{m2},89$	$323^{m2},40$	268^{m2}	25[illegible]$^{m2},20$
amètre des cylindres	585^{mm}	560^{mm}	560^{mm}	560^{mm}	390^{mm} et 600^{mm} (***)
orse des pistons	813^{mm}	760^{mm}	760^{mm}	660^{mm}	650^{mm}
amètre des roues motrices	$1^{m},600$	$1^{m},525$	$1^{m},450$	$1^{m},420$	$1^{m},400$
ɪpattement total	$8^{m},000$	$7^{m},808$	$7^{m},513$	$7^{m},550$	$7^{m},050$
ids total	$105^{t},5$	$94^{t},5$	94^{t}	91^{t}	$71^{t},6$
ids adhérent	94^{t}	$84^{t},5$	85^{t}	$80^{t},5$	$64^{t},6$

) Y compris $2^{m2},48$ de tubes d'eau dans le foyer.
*) Tubes Serve à ailerons.
**) Compound à 4 cylindres.

Certaines Compagnies américaines, afin d'augmenter la uissance des machines à 4 essieux couplés, ont ajouté n essieu porteur à l'arrière, en remplaçant ainsi le type onsolidation (2-8-0) par le type Mikado (2-8-2). Ce derier présente d'abord l'avantage de permettre l'adoption 'un foyer plus profond qu'avec le type 2-8-0, ce qui evient surtout important avec la tendance actuelle à ugmenter le diamètre des roues des machines à 4 essieux ouplés. De plus, la présence du bissel à l'arrière est un lément de sécurité pour les machines qui, employées au ervice de renfort sur les rampes, redescendent à vide, ender en avant. Ce système a donc été d'abord appliqué, n 1902, à 15 locomotives destinées à la traversée des nontagnes Rocheuses sur la grande ligne de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry*. Plus récemment, le *Northern Pacific R. R.*, dont la grande ligne transcontinentale préente également des sections très accidentées, a mis en ervice, en 1904-1905, des lots importants de machines le ce type, et de nouvelles séries de locomotives iden-

tiques sont en construction pour 1907. En dehors de ces quelques cas particuliers, tous les autres réseaux paraissent vouloir s'en tenir actuellement au type 2-8-0.

RÉSEAU	A. T. & S. F.	N. P.
Série	885	W
Date	1902	1905
Timbre	$15^{kg},9$	$14^{kg},1$
Surface de grille	$5^{m2},50$	$4^{m2},30$
Diamètre minimum du corps cylindrique	$2^{m},000$	$1^{m},910$
Tubes. — Nombre	463	374
— Longueur	$5^{m},800$	$5^{m},950$
— Diamètre extérieur	57^{mm}	$50^{mm},8$
Surface de chauffe — du foyer	$19^{m2},75$	$19^{m2},75$
Surface de chauffe — des tubes	485^{m2}	359^{m2}
Surface de chauffe — totale	$504^{m2},75$	$378^{m2},75$
Diamètre des cylindres	470^{mm} et 760^{mm} (*)	482^{mm} et 760^{mm} (*)
Course des pistons	813^{mm}	760^{mm}
Diamètre des roues motrices	$1^{m},450$	$1^{m},600$
Empattement total	$9^{m},600$	$10^{m},600$
Poids total	119^{t}	123^{t}
Poids adhérent	89^{t}	94^{t}

(*) Compound tandem.

4° **Locomotives à 5 essieux couplés.** — Les machines à 4 essieux couplés de l'*Atchison Topeka and Santa Fé* Ry étant devenues insuffisantes pour la remorque des lourds trains de marchandises sur les sections accidentées de la grande ligne, ce réseau fit construire à titre d'essai quelques machines à 5 essieux couplés du type 2-10-0 (Decapod). Les expériences prouvèrent que ces machines circulaient parfaitement dans des courbes même très raides, grâce à l'absence de boudins aux roues intermédiaires ; mais on jugea nécessaire d'adapter un bissel à l'arrière, afin d'éviter toute chance de déraillement lorsque ces machines redescendent tender en avant après avoir donné le renfort à un train sur une rampe. On créa ainsi en 1903 le *Santa Fé type* 2-10-2 (Voir Pl. XI, *fig.* 6), dont la Compagnie fit construire, en 1903 et 1904, 40 exemplaires chauffés au charbon et 45 au pétrole de Californie. Le ser-

vice de ces machines a été jugé tellement satisfaisant que 52 nouvelles locomotives du même type ont été commandées en 1906 aux ateliers Baldwin. Toutes ces machines sont du système compound tandem.

En dehors de l'*Atchison Topeka and Santa Fé* R^y, quelques réseaux ont mis à l'essai des locomotives 2-10-0, mais ce ne sont que des exemplaires isolés : tel est notamment le cas de la machine de la *Soo Line* (*Minneapolis* St *Paul and Sault* Ste *Marie* R^y). Au contraire, l'exemple de l'*Atchison Topeka and Santa Fé* R^y est particulièrement intéressant, puisqu'il indique que la machine à 5 essieux couplés répond parfaitement aux exigences d'un service de renfort très dur, sur des voies fortement accidentées et comportant des courbes très raides.

RÉSEAU	A. T. & S. F.	A. T. & S. F.	SOO
Type	2-10-0	2-10-2	2-10-0
Série	987	900	600
Date	1902	1903	1900
Timbre	14kg,8	15kg,9	15kg,2
Surface de grille	5m²,50	5m²,50	3m²,52
Diamètre minimum du corps cylindrique	2m,000	2m,000	1m,725
Tubes. — Nombre	463	391	344
— Longueur	5m,800	6m,100	4m,750
— Diamètre extérieur	57mm	57mm	50mm,8
Surface de chauffe — du foyer	19m²,75	19m²,60	18m²
Surface de chauffe — des tubes	485m²	430m²	264m²
Surface de chauffe — totale	504m²,75	449m²,60	282m²
Diamètre des cylindres	483mm et 813mm	483mm et 813mm	432mm et 710mm
Course des pistons	813mm	813mm	813mm
Diamètre des roues motrices	1m,450	1m,450	1m,400
Empattement total	9m,080	10m,900	8m,550
Poids total	121t	130t	95t
Poids adhérent	107t,5	106t	84t

5° **Locomotives articulées.** — En 1903, le *Baltimore and Ohio R. R.* fit construire par l'American Locomotive C°, dans ses ateliers de Schenectady (N. Y.), une machine destinée à servir de locomotive de renfort en queue des trains de marchandises de 1.800 à 2.400 tonnes sur la ligne de Pennsylvanie, pour les aider à franchir, près de Connelsville (Pa.), une succession de rampes de 10 milli-

mètres par mètre, dont la plus longue est de 10^{km},5. Les dimensions de cette machine ont été calculées de façon qu'elle puisse fournir le même service que deux locomotives du type Consolidation : outre l'économie réalisée sur le personnel (une seule équipe au lieu de deux), on escomptait une réduction des frais de traction, d'entretien et de réparation.

Les renseignements que nous donnons plus loin (Voir l'*Annexe*) permettront de se rendre compte de la façon dont cette machine a satisfait au programme que l'on avait tracé. Cette locomotive est du type articulé, système Mallet, bien connu en Europe ; elle repose sur 6 essieux en deux groupes de 3 ; les 3 essieux AR, actionnés par les cylindres HP, sont placés sous le châssis principal de la machine, tandis que le châssis des 3 essieux AV, avec les cylindres BP, forme truck articulé (Voir Pl. XIII, *fig.* 3 et 4). Cette machine, du type (0-6-0)-(0-6-0), était encore dernièrement « the largest and the most powerful in the world », comme se plaisent à dire les Américains ; mais elle vient de perdre récemment le record du poids et de la puissance.

Les excellents résultats obtenus en service avec la machine Mallet du *Baltimore and Ohio R. R.* ont, en effet, conduit d'autres réseaux à faire construire des locomotives du même type.

Le *Great Northern Ry* vient de recevoir des ateliers Baldwin un lot de 5 machines Mallet très puissantes, destinées à la traversée de la Cascade Range sur sa grande ligne transcontinentale. Actuellement, les trains de marchandises de 2.000 tonnes, remorqués sur le reste de la ligne par des machines 2-8-0, sont coupés en deux parties au bas des rampes de 25 millimètres à l'aide desquelles la ligne franchit la chaîne de montagnes en question ; chaque moitié du train est remorquée par deux locomotives 2-8-0, l'une en tête et l'autre en queue. A l'avenir, on pense

pouvoir se dispenser de couper les trains en mettant une machine Mallet en tête et une en queue. Comme ces machines sont destinées à circuler sur une ligne à courbes très fréquentes et très raides, on les a munies d'un bissel à l'avant; de plus, comme elles auront souvent à redescendre à vide, tender en avant, on a également placé un bissel à l'arrière. Ces locomotives sont donc du type (2-6-0)-(0-6-2), présentant ainsi le même nombre d'essieux que les machines 6121 du *Nord* à deux bogies moteurs, du type T-(0-6-2)-(2-6-0) ; mais il ne faut pas oublier que ces dernières locomotives portent leurs approvisionnements, tandis que celles du *Great Northern Ry* sont des machines à tender séparé.

Enfin l'American Locomotive C° étudie une machine Mallet très puissante pour l'*Erie R. R.* ; sur ce réseau, la grande ligne est en quasi-palier, sauf un dos d'âne de 11 kilomètres comportant des déclivités de 12 millimètres par mètre dans les deux sens : néanmoins les trains de marchandises de 2.500 à 3.000 tonnes remorqués par des machines 2-8-0 sur le reste de la ligne ne sont pas coupés pour franchir ce dos d'âne ; on est donc forcé d'ajouter en queue du train jusqu'à 3 ou même 4 locomotives 2-8-0, ce qui nécessite naturellement des frais de traction très élevés. La machine Mallet destinée à donner le renfort sur cette section sera portée sur 8 essieux, tous utilisés pour l'adhérence : les 4 premiers, actionnés par les cylindres B. P., formeront truck articulé à l'avant, et les 4 autres seront montés, avec les cylindres H. P., sur le châssis principal de la machine, qui sera ainsi du type (0-8-0)-(0-8-0). A cause de la largeur considérable de la grille, on sera obligé de reporter l'abri du mécanicien à cheval sur le corps cylindrique suivant la disposition uniformément adoptée sur les machines à anthracite, mais à laquelle on n'avait pas encore dû recourir pour une machine brûlant du charbon gras.

RÉSEAU	B. & O.	G. N.	ÉRIÉ	NORD
Type	(0-6-0)-(0-6-0)	(2-6-0)-(0-6-2)	(0-8-0)-(0-8-0)	T-(0-6-2)-(2-[illegible]-0)
Série	2400	1800	»	6121
Date	1904	1906	1907	1904
Timbre	16^{kg},5	14^{kg},1	15^{kg},1	10^{k}
Surface de grille	6^{m2},75	7^{m2},34	9^{m2},40	3^{m2},0[illegible]
Diamètre du corps cylindrique	2^{m},135	2^{m},135	2^{m},135	1^{m},456
Tubes. — Nombre	436	441	438	130 (*)
— Longueur	6^{m},400	6^{m},400	6^{m},400	4^{m},750
— Diam. ext^{r}	57^{mm}	57^{mm}	57^{mm}	70^{mm}
Surface de chauffe — du foyer	20^{m2},50	21^{m2},15	»	12^{m2}
Surface de chauffe — des tubes	505^{m2}	510^{m2},05	»	232^{m2},50
Surface de chauffe — totale	525^{m2},50	531^{m2},20	574^{m2},15	244^{m2},50
Diam. des cylindres	510^{mm} et 813^{mm}	547^{mm} et 838^{mm}	»	400^{mm} et [illegible]
Course des pistons	813^{mm}	813^{mm}	»	680^{mm}
Diamètre des roues motrices	1^{m},420	1^{m},400	1^{m},295	1^{m},455
Empattement total	9^{m},350	13^{m},670	11^{m},940	12^{m},590
Poids total	152^{t}	161^{t}	186^{t}	102^{t} (**)
Poids adhérent	152^{t}	143^{t}	186^{t}	72 (***)

(*) Tubes Serve à ailerons.
(**) Avec 12^{m3},8 d'eau et 5 tonnes de charbon.
(***) A vide.

6° **Locomotives de triage et de manœuvre.** — Contrair- ment à la pratique européenne, les machines de triage et de manœuvre usitées en Amérique sont toujours des loc- motives à tender séparé. Nous avons noté plus haut q ces tenders avaient généralement une paroi forteme inclinée à l'arrière, afin de permettre au mécanicie d'apercevoir la voie, quel que soit le sens de marche Signalons également que l'avant de la machine et l'arrièr du tender portent de longs marchepieds et des main courantes à l'usage des employés accompagnant le locomotives de triage pour la manœuvre des aiguille dans les gares, ou des leviers désengageurs des coupleur automatiques des wagons.

On utilise uniformément, comme machines de triage e de manœuvre, des locomotives à 3 essieux du type 0-6- dont la puissance est souvent considérable, comme l'in diquent les chiffres que nous donnons plus loin, et qui son relatifs aux machines d'un usage courant sur le *Harriman Lines* et le *Pennsylvania R. R.* Sur certai

éseaux, on a eu recours parfois à des machines à essieux couplés des types 0-8-0 ou 2-8-0; mais ce ont là des cas exceptionnels. En 1906, le *Pittsburg nd Lake Erie R. R.*, ayant à faire construire des machines e triage de très grande puissance, n'a pas cru devoir ecourir à des locomotives à 4 essieux couplés : en raison es courbes très prononcées que présentent les voies de iage, on a préféré conserver le type 0-6-0 sur lequel empattement est réduit autant que possible; mais on a û porter la charge par essieu jusqu'à 27 tonnes, ce qui 'est naturellement possible qu'avec des voies de maœuvre aussi solidement établies que les voies principales u réseau. Comme détail de construction, nous indiquerons ue cette machine est à grille étroite et à foyer profond; n général, on note cependant une tendance marquée à monter des foyers à grille large, même sur les machines le triage du type 0-6-0.

En 1905, le *Lake Shore and Michigan Southern R^y* a fait construire, par l'*American Locomotive C°*, 5 locomotives de triage d'un type exceptionnellement puissant; ces machines sont destinées à faire le service des grands « yards » de triage par la gravité. Afin de pouvoir remonter, ur le dos d'âne de la butte de triage comportant une déclivité de 40 millimètres, les trains de 2.800 à 3.000 tonnes emorqués sur la grande ligne par les machines 2-8-0, on a té obligé d'adopter une locomotive de triage extrêmement uissante, portée par 5 essieux couplés (type 0-10-0); es machines ont donné toute satisfaction, et l'on évite insi de couper les trains lors du « débranchement ». eur inconvénient est d'être par trop spécialisées, car il st évident que, pour le service des manœuvres, leur puisance serait très mal utilisée, tandis que les machines -6-0 sont susceptibles de rendre des services variés (*).

(*) Il n'existe pas en France de machines de triage assez puissantes our que nous puissions les rapprocher des locomotives américaines.

RÉSEAU	S. P.	P. R. R.	P. & L. E.	L. S. & M. S.
Type	0-6-0	0-6-0	0-6-0	0-10-0
Série	S-150	B-6	»	M
Date	1905	1904	1906	1905
Timbre	12^{kg},7	14^{kg},5	14^{kg},1	14^{kg},1
Surface de grille	2^{m2},82	3^{m2},88	3^{m2},13	5^{m2},20
Diamètre minimum du corps cylindrique	1^{m},780	1^{m},710	2^{m},030	2^{m},040
Tubes. — Nombre	276	325	450	447
— Longueur	3^{m},500	4^{m},220	3^{m},960	4^{m},800
— Diamètre extérieur	50^{mm},8	50^{mm},8	50^{mm},8	50^{mm},8
Surface de chauffe { du foyer	16^{m2},20	14^{m2},30	19^{m2},40	18^{m2},50
Surface de chauffe { des tubes	155^{m2}	220^{m2},50	273^{m2}	416^{m2},50
Surface de chauffe { totale	171^{m2},20	234^{m2},80	292^{m2},40	435^{m2}
Diamètre des cylindres	510^{mm}	560^{mm}	535^{mm}	610^{mm}
Course des pistons	660^{mm}	610^{mm}	760^{mm}	710^{mm}
Diamètre des roues motrices	1^{m},450	1^{m},420	1^{m},300	1^{m},320
Empattement total	3^{m},477	3^{m},500	3^{m},660	5^{m},800
Poids total	68^{t}	77^{t}	80^{t}	122^{t},5
Poids adhérent	68^{t}	77^{t}	80^{t}	122^{t},5

7° **Locomotives de banlieue.** — A l'inverse de ce que nous avons noté pour les locomotives de triage, les locomotives américaines destinées au service de banlieue sont presque toujours des machines-tenders. Cependant le *Pennsylvania R. R.* utilise dans ce but les machines 4-4-0 à tender séparé, dont nous avons précédemment donné les dimensions.

En règle générale, les machines de banlieue sont à 3 essieux couplés, avec truck articulé à l'AV et à l'AR, pour permettre de circuler indifféremment dans les deux sens. Afin d'obtenir un rapport élevé du poids adhérent au poids total, le type T-2-6-2 est donc tout indiqué; c'est à ce type que se rapportent notamment les machines du *Central Railroad of New Jersey;* des locomotives à peu près identiques sont usitées par d'autres réseaux, notamment le *Chicago and Western Indiana R. R.* Sur certaines machines où les approvisionnements sont reportés presque en totalité sur l'arrière, le bissel AR est remplacé par un bogie à 2 essieux (notamment au *Philadelphia and Reading Ry*) ou même à 3 essieux (machines du *New York Central Lines* et de l'*Illinois Central R. R.*

uvelle machine-tender de l'*Est*, du type T-4-6-4, ınd à 4 cylindres, est la locomotive de banlieue rapproche le plus, par sa puissance, des machines aines.

RÉSEAU	C. R. R. of N. J.	P. & R.	N. Y. C.	EST
....	T-2-6-2	T-2-6-4	T-2-6-6	T-4-6-4
....	»	»	»	3901
....	1902	1903	1902	1905
....	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$	15^{kg}
de grille............	$5^{m2},13$	$6^{m2},45$	$5^{m2},83$	$2^{m2},57$
e minimum du corps lriqne...............	$1^{m},525$	$1^{m},680$	$1^{m},780$	$1^{m},516$
— Nombre..........	249	447	365	229
Longueur	$3^{m},970$	$2^{m},740$	$3^{m},020$	$4^{m},200$
Diamètre extérieur.	$56^{mm},8$	$56^{mm},8$	$56^{mm},8$	$48^{mm},75$
du foyer..........	13^{m2}	$14^{m2},70$	$15^{m2},25$	$13^{m2},95$
des tubes.........	160^{m2}	$171^{m2},50$	214^{m2}	$134^{m2},70$
totale	173^{m2}	$186^{m2},20$	$229^{m2},25$	$148^{m2},65$
e des cylindres.......	457^{mm}	510^{mm}	510^{mm}	350^{mm} et 550^{mm}
les pistons..........	660^{mm}	610^{mm}	610^{mm}	640^{mm}
e des roues motrices..	$1^{m},600$	$1^{m},570$	$1^{m},600$	$1^{m},580$
ment total...........	$9^{m},650$	$9^{m},500$	$10^{m},880$	$10^{m},800$
otal.................	86^{t}	91^{t}	98^{t}	$90^{t},2$
dhérent..............	$58^{t},5$	55^{t}	58^{t}	$47^{t},2$

III.

« STANDARDIZATION. »

Américains désignent sous le nom de *standar-n* une quadruple tendance consistant : 1° à adop-chaque réseau un nombre de types de locomotives éduit que possible ; — 2° à adopter les mêmes ur tous les réseaux constituant un groupement dit ım » ; — 3° à conserver ces types lors de la ction d'une nouvelle série en modifiant seulement es dimensions lorsqu'il est nécessaire d'augmen-uissance ; — 4° à adopter pour les différents types ıême réseau le plus grand nombre possible de nterchangeables.

RÉSEAU	S. P.	P. R. R.	P. & L. E.	L. S. & M. S.
Type	0-6-0	0-6-0	0-6-0	0-10-0
Série	S-150	B-6	»	M
Date	1905	1904	1906	1905
Timbre	12kg,7	14kg,5	14kg,1	14kg,1
Surface de grille	2^{m2},82	3^{m2},88	3^{m2},13	5^{m2},20
Diamètre minimum du corps cylindrique	1m,780	1m,710	2m,030	2m,040
Tubes. — Nombre	276	325	450	447
— Longueur	3m,500	4m,220	3m,960	4m,800
— Diamètre extérieur	50mm,8	50mm,8	50mm,8	50mm,8
Surface de chauffe — du foyer	16^{m2},20	14^{m2},30	19^{m2},40	18^{m2},50
Surface de chauffe — des tubes	155^{m2}	220^{m2},50	273^{m2}	416^{m2},50
Surface de chauffe — totale	171^{m2},20	234^{m2},80	292^{m2},40	435^{m2}
Diamètre des cylindres	510mm	560mm	535mm	610mm
Course des pistons	660mm	610mm	760mm	710mm
Diamètre des roues motrices	1m,450	1m,420	1m,300	1m,320
Empattement total	3m,477	3m,500	3m,060	5m,800
Poids total	68t	77t	80t	122t,5
Poids adhérent	68t	77t	80t	122t,5

7° **Locomotives de banlieue.** — A l'inverse de ce que nous avons noté pour les locomotives de triage, les locomotives américaines destinées au service de banlieue sont presque toujours des machines-tenders. Cependant le *Pennsylvania R. R.* utilise dans ce but les machines 4-4-0 à tender séparé, dont nous avons précédemment donné les dimensions.

En règle générale, les machines de banlieue sont à 3 essieux couplés, avec truck articulé à l'AV et à l'AR, po[...] permettre de circuler indifféremment dans les deux se[...] Afin d'obtenir un rapport élevé du poids adhérent [...] poids total, le type T-2-6-2 est donc tout indiqué; c'es[...] ce type que se rapportent notamment les machines [...] *Central Railroad of New Jersey*; des locomotives à p[...] près identiques sont usitées par d'autres réseaux, [...] tamment le *Chicago and Western Indiana R. R.* Sur ce[...] taines machines où les approvisionnements sont report[...] presque en totalité sur l'arrière, le bissel AR est rempla[...] par un bogie à 2 essieux (notamment au *Philadelph[...] and Reading Ry*) ou même à 3 essieux (machines d[...] *New York Central Lines* et de l'*Illinois Central R. R*[...]

uvelle machine-tender de l'*Est*, du type T-4-6-4, ınd à 4 cylindres, est la locomotive de banlieue rapproche le plus, par sa puissance, des machines aines.

RÉSEAU	C. R. R. of N. J.	P. & R.	N. Y. C.	EST
....	T-2-6-2	T-2-6-4	T-2-6-6	T-4-6-4
....	»	»	»	3901
....	1902	1903	1902	1905
....	14^{kg},1	14^{kg},1	14^{kg},1	15^{kg}
de grille............	5^{m2},13	6^{m2},45	5^{m2},83	2^{m2},57
e minimum du corps lrique...............	1^{m},525	1^{m},680	1^{m},780	1^{m},516
— Nombre..........	249	447	365	229
Longueur	3^{m},970	2^{m},740	3^{m},020	4^{m},200
Diamètre extérieur.	56^{mm},8	56^{mm},8	56^{mm},8	48^{mm},75
du foyer..........	13^{m2}	14^{m2},70	15^{m2},25	13^{m2},95
des tubes.........	160^{m2}	171^{m2},50	214^{m2}	134^{m2},70
totale	173^{m2}	186^{m2},20	229^{m2},25	148^{m2},65
e des cylindres.......	457^{mm}	510^{mm}	510^{mm}	350^{mm} et 550^{mm}
les pistons..........	660^{mm}	610^{mm}	610^{mm}	640^{mm}
e des roues motrices..	1^{m},600	1^{m},570	1^{m},600	1^{m},580
ment total...........	9^{m},650	9^{m},500	10^{m},880	10^{m},800
otal.................	86^{t}	91^{t}	98^{t}	90^{t},2
lhérent..............	58^{t},5	55^{t}	58^{t}	47^{t},2

III.

« STANDARDIZATION. »

Américains désignent sous le nom de *standar- n* une quadruple tendance consistant : 1° à adop- chaque réseau un nombre de types de locomotives éduit que possible ; — 2° à adopter les mêmes ur tous les réseaux constituant un groupement dit ɜm » ; — 3° à conserver ces types lors de la ction d'une nouvelle série en modifiant seulement ɜs dimensions lorsqu'il est nécessaire d'augmen- ›uissance ; — 4° à adopter pour les différents types ıème réseau le plus grand nombre possible de .nterchangeables.

1° La tendance à la *réduction* du nombre des types se manifeste sur presque tous les grands réseaux (il ne saurait être question ici des réseaux secondaires, où la réalisation de cette condition est souvent bien plus facile, puisqu'il suffit par exemple d'un seul type de machines 4-6-0 pour assurer tous les services), qui ne font généralement construire que trois types de machines : l'un 4-4-2 ou 4-6-2 pour les express, l'autre 2-8-0 pour les marchandises, et le troisième 0-6-0 pour le triage et les manœuvres.

2° La tendance à la *conservation* des types est au contraire beaucoup moins fréquente, car un grand nombre de réseaux américains, comme d'ailleurs les compagnies européennes, ne gardent des anciens types que des détails d'importance secondaire lors de la construction d'une nouvelle série de machines. Cependant sur les principaux réseaux américains, lorsqu'on construit un nouveau type de locomotives, on le dessine toujours très largement, de façon que sa puissance soit encore suffisante après plusieurs années, malgré l'augmentation progressive de la charge et de la vitesse des trains ; les machines risquent donc moins de se démoder que les locomotives calculées exactement pour les besoins du moment. Les deux exemples les plus intéressants de la conservation des types sont donnés par les grands réseaux du *Pennsylvania R. R.* et du *New York Central and Hudson River R. R.* Sur le premier, toutes les machines 4-4-2 et 2-8-0 que l'on a construites dans ces dernières années, et que l'on construit encore en 1906, dérivent, par de légères modifications, de locomotives presque identiques construites respectivement en 1901 (4-4-2) et 1899 (2-8-0) ; les changements apportés consistent, par exemple, dans la substitution de la construction des cylindres en trois pièces au « half saddle type », des tiroirs cylindriques aux tiroirs plans, de distribution Walschaert extérieures aux coulisses Stephenson inté-

ieures, etc. ; mais la chaudière et la disposition des roues restent toujours les mêmes. Sur le second réseau, la même pratique a été suivie en ce qui concerne les locomotives 4-4-2, les machines de 1906 résultant du développement de celles de 1901 avec quelques modifications, la chaudière et le châssis restant sensiblement les mêmes ; au contraire, pour les machines 2-8-0, tout en conservant les mêmes dispositions générales et un grand nombre de pièces communes, il a fallu, de 1901 à 1906, augmenter notablement les dimensions du type primitif, afin d'accroître dans une proportion considérable la puissance de la machine.

3° La tendance à l'*unification* des types n'a pas suivi immédiatement les « consolidations » ou fusions de plusieurs réseaux en de grands groupements, dit « systems », à intérêts communs. Les exemples les plus frappants de cette unification sont ceux du *Pennsylvania system* et les *Harriman Lines*. Depuis déjà fort longtemps, tous les réseaux constituant le *Pennsylvania system*, dont les plus importants sont le *Pennsylvania R. R.* et les *Pennsylvania Lines West of Pittsburgh* (composés eux-mêmes de réseaux divers), emploient les mêmes types de locomotives ; actuellement, sur cet ensemble d'environ 17.000 kilomètres de lignes possédant plus de 5.000 locomotives, on ne trouve sur les grandes lignes (les machines antérieures à 1900 ne circulant que sur les lignes secondaires) que quatre types principaux de locomotives : une machine 4-4-0 pour trains légers de voyageurs et services de banlieue, une machine 4-4-2 pour express de grand parcours, une machine à marchandises 2-8-0 et une machine de triage 0-6-0. Les *Harriman Lines* ont réalisé récemment une unification aussi complète : sur l'ensemble des réseaux de l'*Union Pacific*, du *Southern Pacific*, du *Chicago and Alton Ry*, de l'*Oregon Short Line*, de l'*Oregon R. R. and Navigation C°*,

représentant au total environ 24.000 kilomètres de lignes, on ne fait plus construire, depuis 1903, que quatre types de machines : deux types de locomotives express 4-4-2 et 4-6-2, un type de locomotive de marchandises 2-8-0, et un type de locomotive 0-6-0 pour le triage et les manœuvres.

Au contraire, l'unification est poussée beaucoup moins loin sur les *New York Central Lines* (16.000 à 17.000 kilomètres) : le New York Central and Hudson River R. R. et le Lake Shore and Michigan Southern Ry emploient les mêmes machines à marchandises 2-8-0; — le Michigan Central R. R. et le Boston and Albany R. R., les mêmes machines à voyageurs 4-6-2, — le New York Central and Hudson River R. R. et le Boston and Albany R. R., les mêmes machines de banlieue T-2-6-6; pour le reste, les divers réseaux ont des matériels différents : c'est ainsi que le Pittsburgh and Lake Erie R. R. ne possède aucune machine de types analogues à celles des autres réseaux, et que le New York Central and Hudson River R. R. emploie des machines express du type 4-4-2, tandis que celles du Lake Shore and Michigan Southern Ry sont du type 2-6-2.

Sur le grand groupement comprenant le *Rock Island system* et le *Frisco system*, on a récemment essayé de réaliser cette unification ; mais, à cause des conditions très variables des voies des multiples réseaux constituant cet ensemble d'environ 21.000 kilomètres, on a dû adopter sept types différents de machines; savoir : un type 4-4-2, un type 4-6-2, deux types 4-6-0, deux types 2-8-0, et un type 0-6-0.

Sur le groupe *Hill* (Great Northern Ry, Northern Pacific R. R., Chicago Burlington and Quincy Ry), représentant plus de 30.000 kilomètres (sans compter les « extensions » en construction), de même que sur le groupe *Gould*, il n'existe encore aucune tentative d'unification, chaque ré-

seau conservant, au point de vue du matériel et de la traction, une complète indépendance.

4° La tendance à l'*interchangeabilité* des pièces entre les différents types de machines d'un même réseau se développe considérablement. Nous en citerons quelques exemples.

Sur les *Harriman Lines*, les quatre types de machines dont nous avons parlé plus haut ont en commun les pièces suivantes : boîtes pour essieux moteurs, essieux porteurs et leurs boîtes, cheminées, sablière, traverse *N* et « pilot » (sauf pour la machine de triage), purgeurs, crosse de piston, têtes de bielles motrices, têtes de bielles d'accouplement, godets graisseurs, excentriques et colliers, tiges de tiroirs, tiroirs cylindriques (sauf la machine de triage), garnitures des tiges de piston et des tiges des tiroirs, dôme, régulateur, soupapes, manomètre, sifflet, graisseur Nathan, porte de boîte à fumée, grille (sauf la machine de triage, qui a les mêmes éléments de grille, mais en moins grand nombre), abri du mécanicien, équipement de cet abri, appareils d'accouplement entre la machine et le tender, bogies du tender (sauf la machine de triage), robinetterie, etc.

Au *Canadian Pacific Ry*, l'interchangeabilité des pièces s'étend non seulement aux trois types actuellement en construction, 4-6-2, 4-6-0 et 2-8-0, mais encore à un certain nombre de machines d'anciens types, comme l'indique le tableau suivant :

Essieux moteurs......... .	Types 2-8-0,	4-6-0,	4-6-2,	et	162 anciennes machines
Essieux porteurs..........	»	»	»	»	162 anciennes machines
Essieux de tenders........	»	»	»	»	211 anciennes machines
Bogie N..................	»	4-6-0,	4-6-2,		
Boîtes d'essieux moteurs...	»	2-8-0,	4-6-0,	4-6-2, et	143 anciennes machines
Boîtes d'essieux porteurs...	»	»	»	»	105 anciennes machines

Boites d'essieux de tender..	»	»	»	»	211 anciennes machines
Cages des boites motrices..	Types	2-8-0,	4-6-0,	4-6-2	
Plaques de garde..........	»	»	»	»	
Cylindres et boites à tiroirs.	»	2-8-0 et 4-6-0			
Fonds de cylindres........	»	2-8-0, 4-6-0 et 4-6-2			
Purgeurs	»	2-8-0,	4-6-0,	4-6-2,	et toutes les anciennes machines
Pistons..................	»	»	»	»	et 4 anciennes machines
Crosses de pistons.........	»	»	»	»	et toutes les anciennes machines
Tiroirs cylindriques.......	»	»	»	»	
Excentriques	»	»	»	»	et 38 anciennes machines
Arbre de relevage.........	»	»	»	»	
Type de foyer	»	»	»	»	
Tubes surchauffeurs.......	»	2-8-0 et 4-6-0			
Collecteur du surchauffeur.	»	2-8-0, 4-6-0 et 4-6-2			
Régulateur	»	4-6-0 et 4-6-2			
Echappement	»	»	»		
Injecteurs	»	2-8-0,	4-6-0,	4-6-2,	et 113 anciennes machines
Manomètre................	»	»	»	»	et toutes les anciennes machines
Graisseurs à godets........	»	»	»	»	et toutes les anciennes machines
Graisseurs à gouttes visibles.	»	»	»	»	et toutes les anciennes machines
Abri du mécanicien........	»	2-8-0 et 4-6-0			
Cloche	»	2-8-0,	4-6-0,	4-6-2,	et toutes les anciennes machines
Traverse AV et pilot........	»	»	»	»	et toutes les anciennes machines
Sabots de freins...........	»	»	»	»	et toutes les anciennes machines
Caisses à eau du tender....	»	2-8-0 et 4-6-0			

Il nous a paru intéressant d'insister sur ces pratiques de « standardization », car leurs avantages sont évidents au point de vue de la diminution des approvisionnements des ateliers et dépôts, — de la réduction des immobilisations des machines, — et, par suite, des économies à réaliser sur les dépenses d'exploitation.

IV.

LOCOMOTIVES COMPOUND.

En général, les locomotives compound ne jouissent pas d'une très grande faveur auprès des ingénieurs américains. Cela tient, d'une part, aux défauts inhérents aux systèmes de compoundage expérimentés, — et, d'autre part, à ce que la plupart des réseaux se procurent du combustible à un prix trop peu élevé pour que les économies réalisées par les compound arrivent à compenser les suppléments de frais (de premier établissement et d'entretien) qu'elles nécessitent.

Cependant, depuis quelques années, la situation paraît se modifier, et nous assistons aujourd'hui à une curieuse évolution. Les ingénieurs américains ont étudié les locomotives compound à 4 cylindres du continent européen, et ont trouvé dans leur adoption les avantages suivants : 1° au point de vue de l'*amélioration de rendement*, il convient de ne pas attacher trop d'importance, en Amérique, à la réduction de la consommation de combustible, à cause du bas prix du charbon (au moins dans les États de l'Est et du Centre) ; il faut surtout considérer l'avantage de pouvoir développer, avec une chaudière donnée, une *plus grande puissance* à la jante des roues motrices, à cause de la meilleure utilisation de la vapeur produite par la chaudière fonctionnant à pleine charge ; cet avantage devient primordial à l'heure actuelle, où les chaudières des locomotives américaines atteignent des dimensions énormes et, par suite, des poids considérables.

2° Pour les locomotives très puissantes, le système compound à 4 cylindres séparés présente le grand avan-

tage de *répartir les efforts entre quatre mécanismes* au lieu de deux. On arrive ainsi à *réduire la fatigue* des pièces du mouvement et du châssis, l'*usure* des parties frottantes, et, par suite, la fréquence et l'importance des avaries avec les réparations et les immobilisations coûteuses qui en résultent.

3° Pour le moment, les ingénieurs américains paraissent vouloir réserver aux locomotives à grande vitesse le fonctionnement compound à 4 cylindres séparés. C'est que l'un des principaux avantages de ce système consiste dans l'*auto-équilibrage* des mécanismes HP par les mécanismes BP, réduisant considérablement la valeur des contrepoids et, par suite, la valeur des perturbations qu'ils ne peuvent annuler complètement. C'est pourquoi les compound à quatre cylindres séparés portent en Amérique le nom de *compound équilibrées* (« balanced compound »).

Après avoir ainsi caractérisé les tendances actuelles, nous allons décrire rapidement les types de locomotives compound en usage en Amérique, en insistant particulièrement sur les nouvelles « compound équilibrées » :

1° Les *compound à deux cylindres* se sont surtout répandues sur le réseau du *Canadian Pacific Ry*, et, si la surchauffe n'était venue apporter une nouvelle solution économique, il n'est pas douteux qu'en raison du prix élevé du charbon la pratique du compoundage n'y persistât encore maintenant.

De nombreux systèmes de valves de démarrage ont été essayés : ils ne diffèrent pas sensiblement des types usités en Europe, et donnent l'admission de vapeur vive à pression réduite au cylindre BP en même temps que l'échappement direct du cylindre HP à l'atmosphère.

Pour les machines puissantes, le système compound à deux cylindres a l'inconvénient de nécessiter des dimensions exagérées pour le cylindre BP : sur les compound 4-6-0

du *Canadian Pacific* R^y datant de 1903, les cylindres ont respectivement 560 et 890 millimètres de diamètre pour une course de 760 millimètres; sur les compound 2-8-0 construites en 1906 par l'*American Locomotive* C^o pour le *Central Vermont* R^y, les cylindres ont 570 et 890 millimètres de diamètre pour 814 millimètres de course. Outre qu'on est parfois obligé de recourir à des artifices spéciaux pour inscrire le cylindre BP dans le gabarit, le poids énorme du piston BP donne lieu à des usures considérables et à de fréquentes avaries. De plus, sur certains réseaux, on nous a donné un autre motif de l'abandon des compound à deux cylindres : c'est le mauvais fonctionnement de la valve de démarrage, sujette à de fréquentes ruptures et nécessitant des réparations multiples.

En fait, on ne construit plus guère de locomotives compound à deux cylindres, et, d'autre part, certains réseaux, comme le *Southern Pacific* et le *Great Northern* R^y, transforment en machines à simple expansion des lots importants de compound à deux cylindres ayant seulement de quatre à huit ans d'existence.

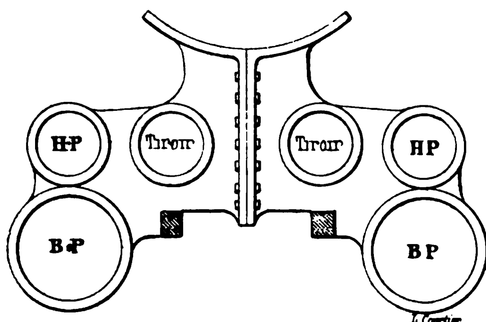


Fig. 17. — Cylindres des compound Woolf-Vauclain.

2° Le type de locomotive compound qui est encore actuellement de beaucoup le plus répandu en Amérique est

le type *Woolf-Vauclain*, qui date de 1889. Dans ce type, les deux pistons HP et BP d'un côté de la locomotive sont *superposés* (Voir *fig.* 17), et leurs tiges sont fixées à une même crosse ; cette crosse est une pièce très lourde, afin de pouvoir résister aux efforts auxquels elle est soumise de la part des deux pistons attachés à ses extrémités, et à la réaction de la bielle motrice en son milieu. La masse considérable de cette lourde crosse, des deux

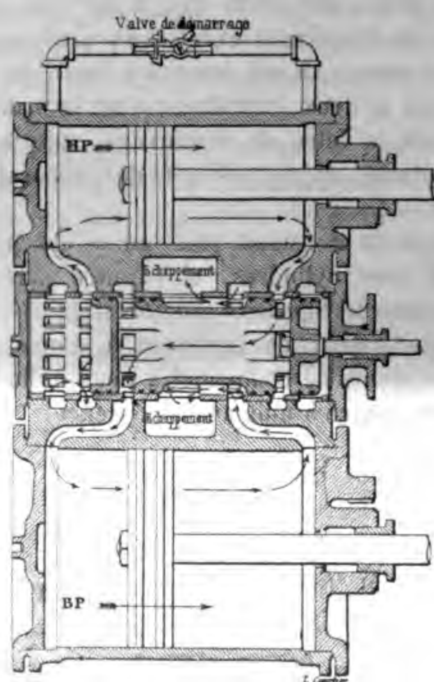


Fig. 18. — Schéma de la distribution d'une locomotive compound Woolf-Vauclain.

pistons et de leurs tiges est donc *très défavorable à l'équilibrage* de la machine, qui nécessite des contrepoids bien plus importants que ceux de la locomotive à simple expansion de même puissance ; pour cette raison, ce sys-

-tème ne convient pas pour les machines à grande vitesse.

Les deux cylindres superposés des compound Woolf-Vauclain n'ont qu'*un seul tiroir* cylindrique dont la cavité sert de réservoir intermédiaire : la vapeur est admise aux extrémités de la boite à tiroir et chemine ensuite comme l'indique le schéma ci-contre (Voir *fig.* 18). La boîte à tiroir renferme naturellement une chemise rapportée ; mais la multiplicité des orifices de cette chemise et des parties frottantes du tiroir rend l'*étanchéité illusoire :* il se produit des passages de vapeur d'une série d'orifices à l'autre, soit entre le tiroir et la chemise, soit même entre celle-ci et son logement. L'usure anormale des cylindres et des glissières résultant de la disposition du mécanisme, et les fuites du tiroir provenant de sa trop grande complication, sont de sérieux arguments en faveur de l'abandon de ce type de locomotives, même pour les machines à marchandises. Toutes ces critiques expliquent pourquoi le type Woolf-Vauclain, après une rapide extension, paraît définitivement abandonné.

Le *Baltimore and Ohio R. R.* transforme actuellement plus de 100 locomotives de ce type en machines à simple expansion ; le *Chicago Rock Island and Pacific Ry* et le *Denver and Rio Grande R. R.*, qui employaient presque exclusivement ce type de machines, il y a quelques années, le condamnent aujourd'hui. En fait, on n'en construit plus.

3° Tandis que le type Woolf-Vauclain avait été adopté pour les machines de grande vitesse aussi bien que pour les machines à marchandises, le type *compound-tandem* n'a été employé que dans ce dernier cas : il présenterait pour les grandes vitesses, par rapport aux machines à simple expansion, la même infériorité que le type à cylindres superposés au point de vue de l'équilibrage.

Les deux tiroirs d'un groupe de cylindres HP-BP sont calés sur la même tige dans le prolongement l'un de

l'autre, et se déplacent dans la même boite à tiroir : l'intérieur de cette boite et la cavité des tiroirs constituent le réservoir intermédiaire (Voir *fig.* 19).

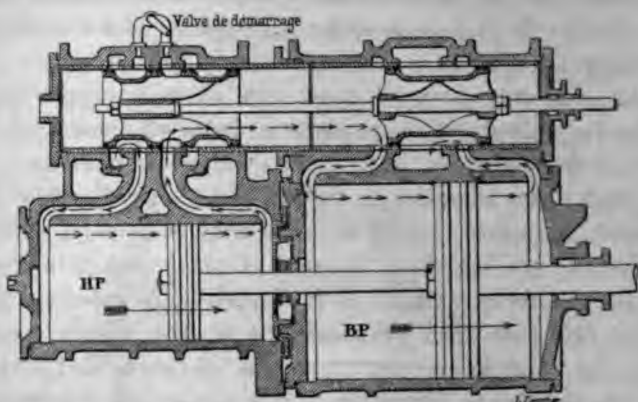


Fig. 19. — Schéma de la distribution des locomotives compound-tandem type 2-10-2 de l'Atchison Topeka and Santa Fé Ry.

A part le réseau de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry*, où les locomotives à marchandises sont presque toutes du système compound-tandem, et celui du *Northern Pacific*, qui en possède un grand nombre, les compagnies ne paraissent pas disposées à généraliser l'emploi de ce type auquel on reproche le coût trop élevé de son entretien : le *New York Central and Hudson River R. R.*, qui possédait un lot de 30 locomotives compound-tandem construites en 1902-1903, les transforme actuellement en machines à simple expansion, après quelques années d'essais défavorables.

Pour le *démarrage*, les machines Woolf-Vauclain et les compound-tandem possèdent le même dispositif extrêmement simple : c'est un *robinet de « court-circuit »* (*by-pass valve*) permettant de faire communiquer entre elles les lumières des deux faces de chaque cylindre HP ; de cette façon les cylindres HP n'interviennent pas dans le dé-

marrage; mais la vapeur vive admise sur l'une des faces du cylindre HP se rend par le « by-pass » sur l'autre face, qui est en communication, par le réservoir intermédiaire, avec le cylindre BP correspondant : tout se passe donc comme si la machine fonctionnait à simple expansion avec ses seuls cylindres BP.

4° On trouve actuellement, en Amérique, deux types bien distincts de locomotive *compound équilibrée :* le type construit par les *ateliers Baldwin* sur les plans de M. *Vauclain* et le type construit par l'*American Locomotive C°* de *Schenectady* (N.Y.) sur les plans de M. *Cole.*

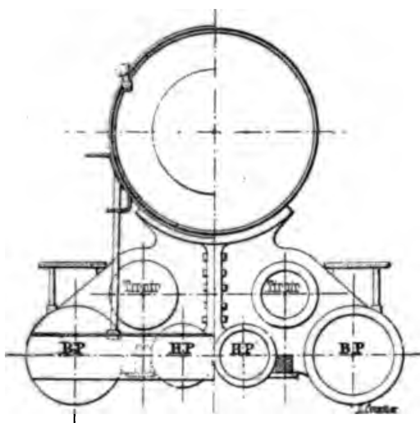


Fig. 20. — Locomotive compound équilibrée, système Vauclain, des ateliers Baldwin.

Les locomotives compound équilibrées des *ateliers Baldwin* sont caractérisées par l'emploi de *4 cylindres placés sur la même ligne ;* dans le but de se rapprocher autant que possible de la construction américaine traditionnelle, on fond en une seule pièce les deux cylindres d'un côté de la locomotive (un HP et un BP), leur boîte à tiroir commune, et la moitié du support de boîte à fumée renfermant les tuyaux d'admission et d'échappement (Voir *fig.* 20). Cette pièce de moulage, extrêmement

compliquée, présente donc une grande analogie avec ... des compound Woolf-Vauclain précédemment ... truites. Les deux cylindres d'un côté de la locomoti... agissant sur des manivelles à 180°, on a pu conserve... comme dans les compound à cylindres superposés, u... seul *tiroir commun à ces deux cylindres* ; ici l'admission

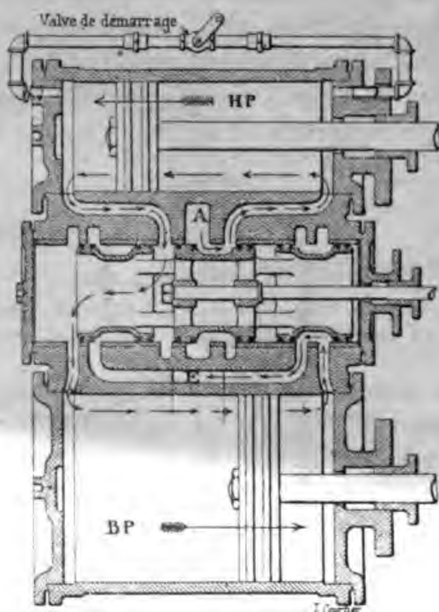


FIG. 21. — Locomotive compound équilibrée, système Vauclain des ateliers Baldwin : schéma de la distribution.

se fait par le centre au lieu de se faire par les extré... tés, et la vapeur circule ensuite comme l'indiqu... schéma ci-contre (Voir *fig.* 21). On sait qu'en Europe, qu'on se dispense de mettre un mécanisme de dis... tion pour chaque cylindre, on emploie néanmoins tiroirs séparés (compound à 4 cylindres système vo... ries); d'ailleurs, le plus souvent, on préfère con...

quatre mécanismes de distribution complètement indépendants, ce qui donne aux compound françaises une grande élasticité en service. Les ingénieurs américains ont cherché à *simplifier le plus possible la compound équilibrée*, afin de la rapprocher des machines d'un emploi courant sur leurs voies ferrées : il sera intéressant de voir s'ils ne pousseront pas plus loin leur évolution actuelle. D'ailleurs, dans les compound des ateliers Baldwin, si le mécanisme est simplifié, il faut bien reconnaître que *la complication est reportée sur le tiroir* et la boite à tiroir; celle-ci ne porte pas moins de sept couronnes de lumières ! On conçoit combien l'étanchéité est difficile à assurer dans des pièces aussi compliquées: malgré la très grande précision apportée à leur exécution, les inégalités de dilatation et d'usure rendent les fuites inévitables au bout d'un service de faible durée.

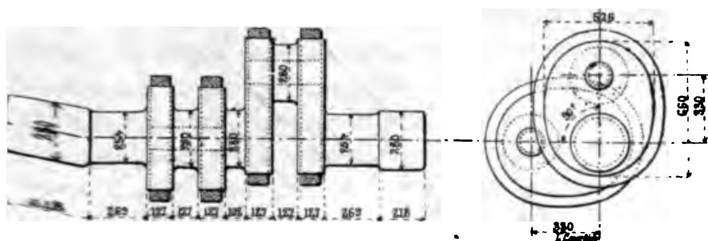


Fig. 22. — Essieu coudé des locomotives compound équilibrées, type Atlantic, du C. B. & Q. Ry.

Au début de la construction des locomotives compound équilibrées (1902), les ateliers Baldwin employaient essieu *coudé* en une seule pièce, en acier forgé à la presse hydraulique : les tourillons des coudes étaient ensuite forés et recevaient une cheville forcée à la presse; de plus, les joues encadrant les tourillons étaient munies de frettes en acier (Voir *fig.* 22). Ultérieurement, les ateliers Baldwin ont adopté l'essieu formé de 3 parties différentes usinées séparément, puis forcées les

unes dans les autres au moyen d'une presse hydrauliq[illegible] (pression de calage de 100 tonnes); les différentes p[illegible]

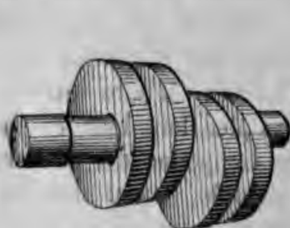


Fig. 23. — Disk axle.

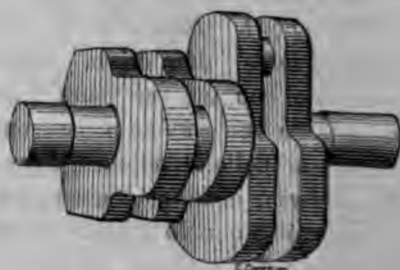


Fig. 24. — Balanced axle.

ties sont ensuite clavetées. Avec ce mode de constr-uction on est plus certain de la qualité du métal, puis-que l'essieu est composé de petites pièces. Les flasques ont

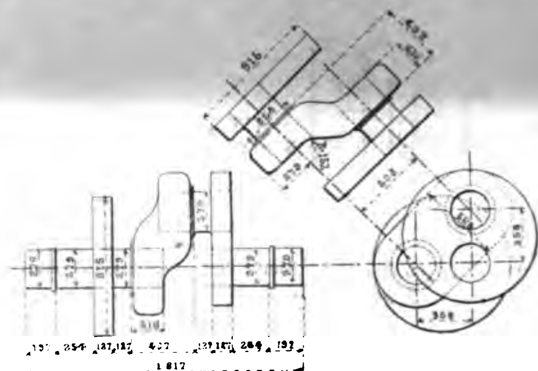


Fig. 25. — Essieu coudé des locomotives compound équilibrées de l'[illegible]

un profil circulaire (« disk axle », Voir *fig.* 23) et so[illegible]nt faites en acier à 0,8 p. 100 de carbone (on prend l'aci[illegible]r le plus dur que les outils puissent travailler). On a essayé, sur une machine de l'*Atchison Topeka and San[illegible]a Fé R^y*, un essieu dont les flasques avaient un profil diff[illegible]-rent, équilibrant complètement le tourillon du cou[illegible]e

(« balanced axle », Voir *fig.* 24) ; mais l'essieu ainsi obtenu était trop lourd et trop coûteux : on y a donc renoncé. Enfin, sur les dernières compound équilibrées construites en 1906 pour l'*Union Pacific*, on a adopté un nouveau type d'essieu coudé qui sera également appliqué aux machines actuellement en construction pour l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* : c'est un essieu du type en Z (Voir *fig.* 25), ce qui réduit à 7 le nombre des pièces à assembler ; de plus, bien que le dessin en soit beaucoup plus robuste que celui des essieux en Z employés en Europe, on a pu néanmoins effectuer une réduction d'environ 500 kilogrammes sur le poids total de l'essieu par rapport au type à 4 flasques.

La disposition des quatre cylindres en ligne présente un gros inconvénient : sur les machines américaines munies d'un bogie à l'avant, le premier essieu accouplé est toujours placé aussi près que possible du bogie, et c'est le deuxième essieu qui est moteur. L'adoption de cylindres intérieurs placés dans l'axe du bogie, comme les cylindres extérieurs, a conduit à modifier cette disposition. Sur les premières machines construites, qui appartenaient aux types 4-6-0 et 4-4-2, on s'est borné à reporter le premier essieu couplé plus loin du bogie : les quatre cylindres attaquent alors cet essieu au moyen de bielles légèrement plus courtes qu'à l'ordinaire. Cette disposition se trouve en particulier sur les machines 4-4-2 de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* (Voir Pl. XI, *fig.* 2). Depuis, on a généralement renoncé à faire agir les quatre cylindres sur le même essieu : les cylindres HP intérieurs attaquent toujours le premier essieu couplé au moyen de bielles plutôt courtes, et les cylindres BP extérieurs actionnent le deuxième essieu couplé au moyen de longues bielles. C'est notamment la disposition que présentent les machines 4-4-2 du *Chicago Burlington and Quincy Ry* (Voir Pl. XIII, *fig.* 1 et 2.)

Lorsqu'on a voulu construire des compound équilibrées

du type 4-6-2, il était impossible d'éloigner ainsi le premier essieu du bogie, parce que la longueur de ce type de machine est déjà considérable. Ne voulant pas renoncer à la disposition des quatre cylindres dans l'axe du bogie, on a eu recours à des *bielles évidées* (« bifurcated rod », Voir Pl. IX, *fig.* 9), qui, passant *autour* du premier essieu couplé, vont attaquer le deuxième (les cylindres BP extérieurs actionnent également cet essieu comme à l'ordinaire, et les 4 bielles ont la même longueur que sur les machines à simple expansion). Chaque bielle, pesant environ 500 kilogrammes, est forgée dans un lingot de 2 tonnes : il n'est donc pas étonnant que certains ingénieurs hésitent à expérimenter ce dispositif : c'est ainsi que le *Chicago Burlington and Quincy R.*, quoique très satisfait des résultats obtenus avec les compound équilibrées Vauclain du type 4-4-2, n'a pas voulu adopter ce système pour son nouveau type 4-6-2, à cause des bielles évidées qu'on lui aurait appliquées.

Ces bielles évidées ont été imaginées pour un lot de quatre machines 4-6-2 destinées à l'*Oregon Railroad and Navigation C°;* puis elles ont été appliquées sur 31 locomotives 4-6-2 de l'*Atchison Topeka and Santa Fé R.*. Sur ce dernier réseau, on a eu à enregistrer trois ruptures de bielles en un an : deux d'entre elles se sont produites entre l'évidement et le premier trou percé dans le corps de la bielle pour l'alléger (Voir Pl. IX, *fig.* 9). On y a remédié en portant de 38 à 51 millimètres l'épaisseur de la nervure qui renforce cette partie de la bielle. La troisième rupture a produit un accident très compliqué : on a retrouvé la bielle brisée en trois morceaux, dont deux avaient pénétré dans la chaudière ; il a donc été impossible de déterminer où s'était produite la rupture initiale. Afin de renforcer davantage les bielles évidées, on a supprimé complètement, sur ces trois machines, les trous destinés à alléger le corps de bielle

L'*Union Pacific* a fait construire en 1903, aux ateliers Baldwin, une série de quinze locomotives compound équilibrées du type 4-4-2, qui présentent quelques particularités. On a adopté les bielles évidées pour ne pas avoir à éloigner le premier essieu couplé du bogie : on n'avait pas en vue, comme dans le type 4-6-2, d'éviter un allongement exagéré de la machine, mais on désirait conserver, autant que possible, les dispositions adoptées sur les locomotives à simple expansion du même type. En particulier, on n'a rien changé aux longerons ni à la chaudière. De plus, on a appliqué à ces machines la distribution Walschaert extérieure (au lieu de la distribution Stephenson intérieure employée sur toutes les autres compound équilibrées Vauclain), afin de pouvoir donner une plus grande longueur aux tourillons intérieurs de l'essieu coudé. Enfin, pour obtenir une action aussi directe que possible de la distribution sur la tige du tiroir, celui-ci a été reporté à l'extérieur au-dessus du cylindre BP correspondant : c'est la première modification apportée à la disposition des tiroirs et cylindres de la compound équilibrée Vauclain depuis son apparition en 1902.

Une autre modification bien plus importante sera introduite sur une série de machines du type 2-6-2 destinées à l'*Atchison Topeka and Santa Fé R^y*. Sur ces locomotives comme sur les machines 4-6-2, il est impossible de reculer le premier essieu couplé : on serait donc obligé de recourir aux bielles évidées; mais il semble que l'expérience tentée sur le type 4-6-2 n'ait pas absolument satisfait les ingénieurs de l'*Atchison Topeka and Santa Fé R^y*, car on y a renoncé pour les machines 2-6-2 : les cylindres HP intérieurs seront inclinés à 7° sur l'horizontale, de façon que les bielles puissent passer par-dessus le premier essieu couplé pour actionner le deuxième.

Le tableau ci-dessous donne la liste des compound

équilibrées construites par les ateliers Baldwin de 1902 à juillet 1906.

RÉSEAU	TYPE	NOMBRE
Chicago Short Line	4-6-0	1
New York, New Haven and Hartford	4-6-0	1
Atchison Topeka and Santa Fé	4-4-2	92
Atchison Topeka and Santa Fé	4-6-2	31
Atchison Topeka and Santa Fé	2-6-2	en construction
Chicago Burlington and Quincy	4-4-2	20
Frisco system	4-6-6	1
Rock Island system	4-4-2	11
Missouri Kansas and Texas	4-6-0	2
Oregon Railroad and Navigation C°	4-6-2	4
Erie R. R.	4-4-2	2
New York Central and Hudson River	4-4-2	1
Pennsylvania R. R.	4-4-2	1
Pennsylvania Lines West of Pittsburgh	4-4-2	1
Union Pacific	4-4-2	15
Italie	4-6-0	10
Nashville Chattanooga and St Louis R. R.	4-6-0	3

Le *Chicago Burlington and Quincy R^y* s'est livré à une série d'expériences sur les locomotives compound équilibrées Vauclain, comparées à des machines similaires, les unes à simple expansion, les autres compound Woolf-Vauclain. Nous donnerons d'abord les dimensions principales de ces machines, afin de montrer leur analogie :

Type	4-4-2	4-4-2	4-4-2
Système	simple	Woolf-Vauclain	équilibrée
Timbre	$14^{kg},8$	$14^{kg},8$	$14^{kg},8$
Surface de grille	$4^{m2},15$	$4^{m2},15$	$4^{m2},15$
Diamètre minimum du corps cylindrique	$1^{m},660$	$1^{m},625$	$1^{m},625$
Nombre de tubes	330	330	274
Longueur des tubes	$5^{m},000$	$5^{m},000$	$5^{m},800$
Diamètre extérieur	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$	57^{mm}
Surface de chauffe — du foyer	$14^{m2},60$	$14^{m2},60$	$14^{m2},60$
Surface de chauffe — des tubes	266^{m2}	266^{m2}	287^{m2}
Surface de chauffe — totale	$280^{m2},60$	$280^{m2},60$	$301^{m2},60$
Diamètre des cylindres	510^{mm}	380^{mm} et 635^{mm}	380^{mm} et 635^{mm}
Course des pistons	660^{mm}	660^{mm}	660^{mm}
Diamètre des roues motrices	$2^{m},140$	$2^{m},140$	$1^{m},980$
Empattement total	$8^{m},410$	$8^{m},405$	$9^{m},300$
Poids total	85^{t}	83^{t}	89^{t}
Poids adhérent	$41^{t},5$	$44^{t},5$	46^{t}

On a constaté que les compound équilibrées étaient sensiblement plus économiques que les autres séries, sans

er de réparations plus coûteuses, si l'on rapporte
ı au nombre de « voitures-kilomètres » repré-
ır les trains remorqués. Voici les chiffres qui nous
communiqués par M. F.-H. Clark, « superintendent
e power » du *Chicago Burlington and Quincy Rr*,
nnée 1905 :

MACHINES	COMPOUND ÉQUILIBRÉES		WOOLF-VAUCLAIN	SIMPLE EXPANSION	
SAC	Lignes à l'Est du Missouri	Lignes à l'Ouest du Missouri	Lignes à l'Est du Missouri	Lignes à l'Est du Missouri	Lignes à l'Ouest du Missouri
machines e	4	6	6	15	9
s parcours par loco-	10.075 km.	10.665 km.	12.730 km.	10.280 km.	9.720 km.
des répa- ar voiture- aux trains s par ces .	$0^{fr},0220$	$0^{fr},0211$	$0^{fr},0205$	$0^{fr},0208$	$0^{fr},0295$
e combus- r voiture- aux trains s par ces .	$0^{fr},0295$	$0^{fr},0289$	$0^{fr},0345$	$0^{fr},0361$	$0^{fr},0355$
yen de voi- train.	7,8	8,1	6,7	6,7	8,1

omotive équilibrée *système Cole* (Voir Pl. XIV),
te en 1903 par l'*American Locomotive C° de Sche-*
(N. Y.) pour le *New York Central and Hudson*
R., indique une tendance bien plus accentuée vers
que européenne. Dans cette locomotive du type
, on a complètement abandonné l'idée de placer les
ylindres en ligne, et on les construit *séparément*, ce
ite les moulages : les deux cylindres BP extérieurs
, avec leurs boîtes à tiroirs, le support de boîte à

fumée; ces cylindres sont placés dans l'axe du bogie, et actionnent le deuxième essieu accouplé suivant la disposition uniformément adoptée en Amérique pour les machines Atlantic à simple expansion. Les cylindres HP intérieurs actionnent le premier essieu accouplé; pour éviter d'avoir des bielles motrices HP trop courtes, on a placé ces cylindres en porte-à-faux à l'avant du groupe formé par les cylindres BP : les cylindres HP sont donc placés au-dessus de l'essieu A' du bogie, et l'on retrouve une longueur normale pour les bielles motrices sans être obligé de reculer les essieux moteurs.

Comme dans les compound européennes, on a adopté la disposition à *4 tiroirs séparés* (cylindriques), ce qui évite le tiroir compliqué des ateliers Baldwin. Néanmoins il n'y a que *deux mouvements de distribution :* les tiroirs HP sont placés *en tandem* des tiroirs BP ; les tiroirs BP sont donc reportés légèrement à l'intérieur des cylindres BP, et les tiroirs HP à l'extérieur des cylindres HP. Les cylindres BP sont boulonnés à l'extérieur des longerons, et les cylindres HP à l'intérieur, ce qui entretoise très solidement l'avant du châssis. Pour chaque piston il n'y a qu'une glissière : celles des cylindres HP sont fixées sous le bloc formé par le support de boite à fumée. On voit que la disposition adoptée pour les cylindres de la compound Cole présente de grandes analogies avec celle qui est appliquée sur les compound françaises : ce système présente l'avantage de pouvoir être utilisé sans modification quel que soit le type de machine : pour l'adapter à une locomotive 4-6-2, 2-6-2 ou 2-8-0, on n'aurait besoin de recourir ni à des bielles évidées, ni à des cylindres inclinés.

Quant à l'essieu coudé adopté par l'American Locomotive C° (Voir Pl. XIV, *fig.* 6), il est identique (aux dimensions près) aux essieux coudés en Z si répandus en Europe.

En dehors de la machine livrée au *New York Central and*

Hudson River R. R., les ateliers de Schenectady en ont construit, en 1905, trois autres très analogues, l'une pour l'*Erie R. R.*, presque identique à la précédente, les deux autres pour le *Pennsylvania R. R.* (l'une d'elles est affectée au réseau des *Pennsylvania Lines West of Pittsburgh*) possédant la même chaudière que les machines 4-4-2 à simple expansion de ce réseau, avec boîte à feu Belpaire. Nous donnons, dans le tableau ci-contre, les dimensions principales de ces machines.

RÉSEAU	N. Y. C. & H. R.	ERIE	P. R. R.
Type	4-4-2	4-4-2	4-4-2
Timbre	15kg,5	15kg,5	14kg,5
Surface de grille	4m2,70	5m2,30	5m2,20
Diamètre minimum du corps cylindrique	1m,835	1m,800	1m,740
Nombre de tubes	390	388	315
Longueur des tubes	4m,880	5m,200	4m,980
Diamètre extérieur	50mm,8	50mm,8	50mm,8
Surface de chauffe — du foyer	18m2,50 (*)	18m2	17m2
Surface de chauffe — des tubes	306m2	323m2	252m2
Surface de chauffe — totale	324m2,50	341m2	269m2
Diamètre des cylindres	394mm et 660mm	394mm et 660mm	407mm et 685mm
Course des pistons	660mm	660mm	660mm
Diamètre des roues motrices	2m,000	1m,980	2m,030
Empattement total	8m,700	8m,770	9m,750
Poids total	91t	93t	91t
Poids adhérent	50t	52t	53t

(*) Y compris 2m2,10 de tubes d'eau dans le foyer.

Lors des essais préliminaires effectués sur le New York Central and Hudson River R. R. avec la compound Cole, la puissance indiquée atteignit près de 2.000 chevaux : on a obtenu les chiffres suivants :

A la vitesse de	108km	à l'heure :	1.688 chevaux indiqués
—	121km	— :	1.980 —
—	135km	— :	1.680 —

En service, la régularité de marche de cette machine a été remarquable : durant son séjour au dépôt de Rensselaer près Albany (N. Y.), elle a travaillé pendant quatorze mois sans jamais être arrêtée pour réparations.

Il sera intéressant de voir ce que donneront les comparaisons de ces machines dites « expérimentales » : le New York Central and Hudson River R. R. et l'Erie R. R. peuvent comparer la compound Cole et la compound Vauclain ; le Pennsylvania R. R. peut les comparer toutes deux avec la compound française qui lui a été livrée en 1904 par les ateliers de Belfort de la Société alsacienne de Constructions mécaniques ; cette machine est identique aux locomotives série 3001 du *P.-O.*

Lors des essais effectués en 1904 au laboratoire monté par le Pennsylvania R. R. à l'Exposition de Saint-Louis, la machine française n'a pas donné les résultats que l'on pouvait en attendre. D'après Mr. Gibbs, « general superintendent of motive power » du Pennsylvania R. R. à Altoona (Pa.), cela tient uniquement à la différence qui existe entre les foyers des locomotives comparées : la compound française, à grille étroite et foyer profond, ne peut pas développer son maximum de puissance en consommant le charbon relativement maigre qui convient très bien aux foyers américains peu profonds et munis d'une grille large. Depuis que la compound française est affectée au dépôt d'Altoona, elle brûle un charbon très riche en matières volatiles, ce qui lui permet d'effectuer le même service que les autres machines Atlantic du Pennsylvania R. R., qui ont cependant une surface de grille supérieure de 70 p. 100 à la sienne. Depuis sa mise en service, elle n'avait nécessité aucune réparation, lorsqu'elle a dû rentrer aux ateliers au printemps dernier à la suite d'une grave collision ; elle avait alors parcouru 70.000 kilomètres ; les ingénieurs qui l'ont examinée aux ateliers nous ont signalé comme très remarquable le peu d'importance du jeu pris par le mécanisme et de l'usure des bandages (*).

(*) Sur les machines américaines, les bandages s'usent rapidement à cause de la fréquence des patinages.

V.

LOCOMOTIVES A VAPEUR SURCHAUFFÉE.

Le premier essai de surchauffe sur une locomotive américaine date de 1870; à cette époque, le *Chicago Burlington and Quincy Ry* construisit une locomotive dont la chaudière était munie à l'avant d'une double plaque tubulaire isolant un compartiment où la vapeur se surchauffait par son passage autour des extrémités des tubes. Depuis, différents brevets furent pris, sans donner aucun résultat pratique.

En juin 1901, à la suite des expériences faites en Allemagne, ces essais furent repris par le *Canadian Pacific Ry*, qui monta un surchauffeur Schmidt dans la boîte à fumée d'une locomotive à simple expansion, type 4-6-0. En 1903, la même Compagnie essaya deux surchauffeurs Schmidt placés dans le faisceau tubulaire de locomotives compound à deux cylindres, type 4-6-0. Ces essais indiquèrent les avantages du surchauffeur placé dans le faisceau tubulaire, qui encombre moins la boîte à fumée, et surtout permet de travailler à la tubulure (*) sans démonter le surchauffeur.

C'est de cette époque que date l'extension de la surchauffe en Amérique, grâce aux efforts de trois ingénieurs : 1° M. H.-H. Vaughan, nommé en 1904 « superintendent of motive power » du *Canadian Pacific Ry*, et remplissant depuis quelques mois les fonctions d' « assistant to the vice-president » de la même Compagnie; 2° M. F.-J. Cole, « mechanical engineer »

(*) Il s'agit des tubes ordinaires, et non pas des tubes contenant les éléments du surchauffeur.

de l'*American Locomotive C°*; 3° M. A.-W. Horsey, « mechanical engineer » du *Canadian Pacific R^y^*.

En juillet 1906, le *Canadian Pacific R^y^* possédait 186 locomotives à vapeur surchauffée, tandis que les réseaux des États-Unis n'en avaient au total que 20 à 25 en service ou en construction : la présente note ne sera donc guère qu'une étude de la surchauffe sur le grand réseau canadien.

En laissant de côté l'unique exemplaire de surchauffeur Schmidt placé dans la boîte à fumée d'une locomotive 4-6-0 du *Canadian Pacific R^y^* en 1901, tous les surchauffeurs actuellement en service en Amérique sont placés dans le faisceau tubulaire. Ils se rapportent à quatre types principaux, qui sont, par ordre chronologique :

1° Le surchauffeur *Schmidt* placé dans le faisceau tubulaire, dont dérivent les trois autres types;

2° Un surchauffeur construit par l'*American Locomotive C°* dans ses ateliers de Schenectady (N. Y.), sur les plans de M. *Cole* ; nous le désignerons sous le nom de *Schenectady A*, qu'on lui a donné en Amérique ;

3° Un surchauffeur, également imaginé par M. *Cole*, et possédant certaines parties communes avec le précédent; nous l'appellerons *Schenectady B* ;

4° Enfin, un surchauffeur construit dans les ateliers du *Canadian Pacific R^y^*, sur les plans de MM. *Vaughan* et *Horsey* ; nous l'appellerons *C. P. R.*

Description des types de surchauffeurs. — 1° Le *surchauffeur Schmidt*, employé sur les locomotives du *Canadian Pacific R^y^* en 1904-1905, est identique aux appareils usités sur les locomotives de l'État prussien et de l'État belge ; nous nous dispenserons donc d'en donner la description. Pour les surchauffeurs Schmidt montés en 1905-1906, on a simplement changé le mode

de fixation des tubes surchauffeurs sur le collecteur, de façon à obtenir des joints séparés, et à éviter les fuites qu'on avait constatées auparavant.

Les données relatives aux chaudières équipées avec le surchauffeur Schmidt sont les suivantes (*) :

RÉSEAU	C. P. R.	C. P. R.
Série	1600	700
Nombre de locomotives	20	10
Date	1904-1905	1905-1906
Type	2-8-0	4-6-0
Service	marchandises	marchandises
Nombre de tubes ordinaires	244	244
Diamètre extérieur de ces tubes	50mm.8	50mm.8
Nombre de gros tubes	22	22
Diamètre extérieur de ces tubes	127mm	127mm
Longueur des tubes	4m.340	4m.340
Nombre de tubes surchauffeurs	88	88
Diamètre extérieur de ces tubes	31mm.8	31mm.8
Surface de chauffe totale	227m²	227m²
Surface de surchauffe	35m².30	35m².30

2° Le *surchauffeur « Schenectady A »* fut appliqué pour la première fois, en juin 1904, à une locomotive type 4-4-2 du *New York Central and Hudson River R. R.* (Voir Pl. XV). Il est constitué par des tubes concentriques analogues aux *tubes Field :* on a eu pour but d'éviter ainsi l'usage des raccords en U reliant deux à deux les extrémités des tubes du surchauffeur Schmidt et de simplifier le mode d'attache des tubes surchauffeurs sur les collecteurs : ici les tubes surchauffeurs sont simplement mandrinés sur les collecteurs, comme les tubes ordinaires le sont dans la plaque tubulaire de boîte à fumée. Le surchauffeur est contenu dans 55 tubes de 76 millimètres de diamètre extérieur, disposés en 11 rangées verticales (Voir la *fig.* 5 de la Pl. XV, indiquant l'emplacement des trous dans la plaque tubulaire AV : chaque gros tube de 76 millimètres renferme un tube de 44mm.5 fermé à son extrémité, située à 0m.915 de la

(*) Nous omettons à dessein les deux machines d'essai de 1903.

plaque tubulaire R, et étirée de façon à maintenir le tube de 44^{mm},5 à la partie supérieure du gros tube (Voir Pl. XV, *fig.* 3). A l'intérieur du tube de 44^{mm},5 se trouve un tube de 27 millimètres, ouvert aux deux bouts ; l'extrémité A' est concentrique à celle du tube de 44^{mm},5, tandis que l'extrémité R est libre et repose sur le tube extérieur. Chaque rangée verticale de 5 tubes possède son collecteur indépendant, ce qui facilite les réparations (Voir Pl. XV, *fig.* 1 et 2) ; les 11 collecteurs partiels sont fixés sur un collecteur général dit « T pipe » à cause de sa configuration ; le collecteur en T est divisé en deux parties par une cloison horizontale, et les collecteurs partiels sont divisés par une cloison verticale. La vapeur saturée entre au sommet du « T pipe », et, par la chambre supérieure, se rend aux 11 collecteurs partiels (chambres antérieures) et de là dans les tubes de 27 millimètres : elle revient surchauffée par les tubes de 44^{mm},5 qui débouchent dans les chambres postérieures des collecteurs partiels ; puis, par la chambre inférieure du « T pipe », elle se rend à deux conduites latérales aboutissant aux chambres à tiroirs.

Nous avons dit que les tubes surchauffeurs étaient fixés dans les collecteurs comme les tubes ordinaires dans la plaque tubulaire A', mais la simplification introduite est plus apparente que réelle ; il faut, en effet, percer, dans la paroi A' et dans la paroi intermédiaire des collecteurs partiels, des trous identiques à ceux de la paroi R pour permettre d'introduire les tubes de 44^{mm},5 qui doivent être fixés sur cette dernière paroi. On doit alors visser : 1° dans des trous de la paroi intermédiaire, des bagues réduisant leur diamètre à 27 millimètres pour recevoir les tubes intérieurs ; puis 2° dans les trous de la paroi A', des bouchons pour les obturer : il en résulte que, loin de faciliter le travail de montage et de démontage des tubes surchauffeurs, on semble l'avoir compliqué.

Comme dans le surchauffeur Schmidt, l'ensemble des collecteurs est renfermé dans une enveloppe en tôle munie d'une porte qui doit être fermée en même temps que le régulateur, afin d'empêcher les gaz du foyer de brûler les tubes surchauffeurs lorsque la vapeur n'y circule pas. Cette manœuvre de la porte est assurée automatiquement au moyen d'un petit servo-moteur : lorsqu'on ouvre le régulateur pour admettre la vapeur dans le surchauffeur, la pression de la vapeur déplace un piston qui maintient la porte ouverte ; dès qu'on ferme le régulateur, un ressort ramène le piston en place et ferme la porte du surchauffeur.

Les chiffres suivants permettent de comparer la chaudière de la locomotive à vapeur surchauffée du *New York Central and Hudson River R. R.* avec celles des machines ordinaires du même type de ladite Compagnie.

TYPE	VAPEUR SATURÉE	VAPEUR SURCHAUFFÉE
Surface de chauffe du foyer..	$16^{m2},40$	$16^{m2},40$
Tubes d'eau dans le foyer....	$2^{m2},25$	$2^{m2},25$
Surface de chauffe des tubes.	$306^{m2},00$	$266^{m2},00$
Surface de chauffe totale.....	$324^{m2},65$	$284^{m2},65$
Surface de surchauffe........	»	$28^{m2},30$

On voit donc que, sur la locomotive à vapeur surchauffée, où la surface de surchauffe représente 10,6 p. 100 de la surface de chauffe des tubes (soit 9,95 p. 100 de la surface de chauffe totale), la réduction de la surface de chauffe des tubes, par rapport à la locomotive à vapeur saturée, est de 12,6 p. 100 (soit une réduction de 11,9 p. 100 sur la surface de chauffe totale).

Le surchauffeur « Schenectady A », tel que nous venons de le décrire, a été mis à l'essai par une dizaine de réseaux américains ; mais, en dehors du *Canadian Pacific Ry*, qui en a monté 21 en 1904-1905, et du *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, qui en possède 6

(2 sur des machines 4-4-2 et 4 sur des machines 4-6-—2) les autres réseaux n'en ont qu'un ou deux exemplaires. Voici les caractéristiques de deux des séries de locomotives munies de surchauffeurs « Schenectady A » :

RÉSEAU	C. P. R.	C. R. I. & P.
Série	1621	A-25
Nombre de locomotives	21	2
Date	1904-1905	1905
Type	2-8-0	4-4-2
Service	marchandises	express
Nombre de tubes ordinaires	255	173
Diamètre extérieur de ces tubes	50^{mm},8	50^{mm},8
Nombre de gros tubes	55	54
Diamètre extérieur de ces tubes	76^{mm}	89^{mm}
Longueur des tubes	4^{m},330	4^{m},875
Nombre de tubes Field	55	54
Diamètre des tubes extérieurs	44^{mm},5	44^{mm},5
Diamètre des tubes intérieurs	27^{mm}	27^{mm}
Surface de chauffe totale	269^{m2},50	224^{m2}
Surface de surchauffe	32^{m2}	31^{m2},80

Les essais faits sur le *Canadian Pacific Ry* ont montré que le tube Field ne convenait pas comme tube surchauffeur : à égalité de surface, il donne un degré de surchauffe bien inférieur à celui que l'on obtient par l'emploi de tubes extérieurs l'un à l'autre, reliés par des raccords en U à leur extrémité, comme dans le surchauffeur Schmidt. M. Vaughan a cherché la raison de cette infériorité, et il a montré, par des calculs et des diagrammes, que l'on commettait une erreur en cherchant à réchauffer, par l'emploi du tube Field, la vapeur saturée pénétrant dans le surchauffeur au moyen de la vapeur surchauffée qui en sort. Nous ajouterons que l'on pourrait peut-être rechercher si cette infériorité ne provient pas en partie de la disposition du collecteur qui, placé devant les gros tubes, gêne le tirage, et, par suite, réduit la quantité de gaz chaud passant autour des tubes surchauffeurs.

C'est dans la pensée d'augmenter le degré de surchauffe que le diamètre des gros tubes, renfermant les tubes Field, a été porté de 76 millimètres (surchauffeurs du

Canadian Pacific Ry) à 89 millimètres (surchauffeurs du Chicago Rock Island and Pacific Ry.). Comme les tubes Field conservent les mêmes dimensions, on accroît ainsi la section de passage des gaz autour des tubes surchauffeurs.

Malgré les résultats peu favorables obtenus sur le réseau du *Canadian Pacific Ry*, on admet généralement, sur les autres réseaux, que les locomotives munies de surchauffeurs « Schenectady A » sont plus puissantes que les machines du même type à vapeur saturée. Sans mesurer par des chiffres l'augmentation de puissance réalisée, le *Lake Shore and Michigan Southern Ry* a constaté, par exemple, que la locomotive à surchauffeur, remorquant un express lourd, pouvait gagner vingt minutes environ sur un parcours de deux heures et demie à trois heures par rapport à une locomotive du même type sans surchauffeur.

Sur le *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, la même constatation a été faite relativement à l'augmentation de puissance ; mais un incident très particulier est venu ensuite diminuer l'efficacité du surchauffeur : un dépôt très compact s'est formé sur les extrémités .R des tubes surchauffeurs, ce qui a encrassé progressivement les gros tubes donnant passage aux gaz, jusqu'à les obturer complètement dans certains cas. On a donc démonté le surchauffeur, ce qui a permis de constater que le dépôt était fortement adhérent aux tubes, et d'une dureté aussi grande que celle de la pierre : ce dépôt représentait, en effet, un « minerai de fer artificiel » absolument compact, dont l'analyse a donné les résultats suivants :

SiO^2....	14,50
Fe^2O^3 ..	73,12
Al^2O^3...	3,70
SO^4Ca ..	7,60

(le fer est donné à l'état de Fe^2O^3, bien qu'il soit en partie à l'état de Fe^3O^4). Ce dépôt provient des entraînements d'escarbilles qui se décomposent au contact des tubes sous l'influence des gaz chauds. Les locomotives en question brûlaient, en effet, un charbon de Springfield (Ill.) tenant de 8 à 18 p. 100 de cendres (moyenne 12 p. 100) qui renferment beaucoup de fer : évalués en Fe^2O^3, les composés de fer représentent 20 à 40 p. 100 des cendres. L'ingénieur du laboratoire des essais chimiques du *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, suppose que l'agglomération des cendres est due à la présence du soufre qui donnerait un sulfate ferrique ultérieurement décomposé en Fe^2O^3 ou même Fe^3O^4 : en effet, avec d'autres charbons aussi riches en fer, mais sans traces de soufre, on n'a pas eu de dépôt de ce genre.

En avril 1905, pour accroître le degré de surchauffe, M. Cole modifia légèrement l'arrangement du surchauffeur « Schenectady A », de façon à en augmenter considérablement la surface. Ce surchauffeur « Schenectady A modifié » fut appliqué à une locomotive 4-6-2 de l'*Erie R.*, en construction à Schenectady à cette époque. On s'est borné à augmenter la dimension des gros tubes où sont logés les tubes surchauffeurs, de façon à pouvoir en placer quatre au lieu d'un dans chacun d'eux. La chaudière renferme 32 gros tubes de 127 millimètres de diamètre extérieur, en 8 rangées verticales; chacun d'eux renferme 4 éléments Field, dont le tube extérieur a 38 millimètres de diamètre, et le tube intérieur 22 millimètres. Les tubes extérieurs sont fermés par soudure, et leur extrémité est forgée dans un support en fonte malléable libre de se déplacer longitudinalement dans le gros tube de 127 millimètres (Voir *fig.* 26). La surface de surchauffe atteint de la sorte $72^{m^2},70$ pour une surface de chauffe totale de 312 mètres carrés. Il n'a pas été fait d'expériences pour savoir si l'échec de ce surchauffeur provenait soit de la dis-

position des tubes, soit du chiffre élevé adopté pour le rapport de la surface de surchauffe à la surface de chauffe totale ; en tous cas, la locomotive munie de cet appareil est tellement inférieure aux machines du même type à vapeur saturée que ce surchauffeur est connu, à l'*Erie R. R.*, sous le nom ironique de « refrigerator ».

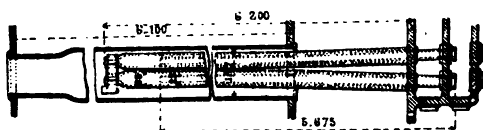


FIG. 26. — Élément du surchauffeur « Schenectady A modifié ».

3° Renonçant alors aux tubes Field, M. Cole a imaginé un nouveau surchauffeur dit « *Schenectady B* », se rapprochant du surchauffeur Schmidt par la disposition des tubes avec raccords en U aux extrémités R. On a conservé, sur ce nouveau type, la disposition précédemment adoptée pour les collecteurs. Toutefois l'abandon des tubes concentriques a permis de disposer, dans chaque collecteur partiel, les deux chambres à vapeur saturée et à vapeur surchauffée l'une à côté de l'autre, et non pas l'une derrière l'autre, comme dans le type précédent ; les tubes sont fixés dans les collecteurs partiels, comme dans une plaque tubulaire ordinaire, et des trous, obturés par des bouchons à vis, sont percés dans la paroi V en face des tubes, de façon à permettre leur mise en place, et leur dudgeonnage en cas de fuites.

Ce surchauffeur a été appliqué en 1906, sur le réseau du *Canadian Pacific R^y*, à un lot de 55 locomotives type 4-6-0, de la série 710, absolument identiques comme dimensions (y compris celles du surchauffeur) aux locomotives de la série 700, à surchauffeur Schmidt, dont nous avons parlé plus haut ; le surchauffeur « Schenectady B » a donné complète satisfaction.

4° *Surchauffeur C. P. R. ou Vaughan-Horsey.* — Les expériences poursuivies au *Canadian Pacific R^y*, sur les surchauffeurs que nous venons de décrire, conduisirent M. Vaughan à déterminer d'une façon précise les conditions requises pour faciliter l'entretien et les réparations sur les appareils en service. Ces conditions sont les suivantes : « 1° Séparer aussi complètement que possible les attaches des tubes surchauffeurs sur les collecteurs ; — 2° Placer ces joints de telle façon qu'ils puissent être vérifiés facilement et rapidement ; — 3° Adopter une disposition permettant de démonter chaque tube surchauffeur sans toucher aux autres », et nous ajouterons : « sans même toucher aux collecteurs ».

Le surchauffeur Schmidt satisfait à la première condition, pourvu qu'on lui fasse subir la modification introduite sur les machines 700 du *Canadian Pacific R^y* (Voir plus haut) ; mais il ne réalise que médiocrement les deux autres. Les surchauffeurs « Schenectady A et B » ne satisfont guère à la première, et nullement aux deux dernières. « Cela ne veut pas dire, déclare M. Vaughan, que ces types de surchauffeurs soient sujets à des avaries en service, ni que leur entretien présente des difficultés spéciales, puisque l'inverse est précisément le cas ; mais les conditions indiquées ne sont pas irréalisables, et leur importance sera certainement appréciée par les dépôts qui auront charge des locomotives à surchauffeurs (*). »

C'est d'après ces considérations que MM. Vaughan et Horsey imaginèrent le type de surchauffeur qu'ils désignent sous le nom de « C. P. R. » (Voir Pl. XVI). La vapeur saturée, venant du régulateur, aboutit à la partie supérieure d'un collecteur à quatre branches (Pl. XVI, *fig.* 3) par lesquelles elle se rend dans les tubes surchauf-

(*) Conférence faite par M. H.-H. Vaughan devant le *New York Railroad Club*, à la réunion du 20 avril 1906.

teurs : ce sont des tubes d'acier sans soudure, de $31^{mm},8$ de diamètre extérieur et 4 millimètres d'épaisseur; leur extrémité est recourbée à chaud, puis forgée sur matrice suivant la forme indiquée par la *fig.* 4 de la Pl. XVI. Un écrou en bronze sert à fixer l'extrémité du tube sur une pièce en acier moulé qui se visse dans les trous du collecteur : une bague en cuivre rouge, de 27 millimètres, est placée dans l'écrou pour assurer l'étanchéité du joint. Les tubes surchauffeurs s'étendent à l'intérieur de gros tubes de 127 millimètres de diamètre, jusqu'à une distance d'environ $0^{m},75$ de la plaque tubulaire R. Ils pénètrent alors dans des raccords en U en acier moulé (Voir Pl. XVI, *fig.* 5); de ces raccords, la vapeur revient, par des tubes surchauffeurs identiques reliés par les mêmes écrous en bronze et les mêmes pièces en acier moulé, aux cinq branches du collecteur de vapeur surchauffée (Pl. XVI, *fig.* 6). Ce collecteur est relié, par des conduites, aux boîtes à tiroirs (Pl. XVI, *fig.* 1). Chaque gros tube de 127 millimètres renferme 2 tubes surchauffeurs provenant du collecteur de vapeur saturée, et les 2 tubes correspondants allant au collecteur de vapeur surchauffée : les raccords en U portent des saillies destinées à maintenir en place les extrémités des tubes surchauffeurs tout en permettant leur dilatation. Les gros tubes sont au nombre de 22, renfermant 88 tubes surchauffeurs, de sorte que, pour les machines du type 4-6-0, la plaque tubulaire A' est absolument identique à celle qui est usitée sur les machines 700 munies de surchauffeurs Schmidt et sur les machines 710 munies de surchauffeurs « Schenectady B » : la surface de surchauffe reste la même dans les trois cas.

Le caractère le plus important du surchauffeur Vaughan-Horsey est la disposition du collecteur : afin de ne pas gêner le passage des gaz dans les gros tubes, les branches des deux collecteurs se trouvent placées alternativement entre les rangées verticales de ces tubes, devant les

intervalles pleins de la plaque tubulaire. Les pièces en acier moulé, vissées sur les collecteurs, reçoivent alors, suivant leur place, 1, 2, 3 et (la plupart) 4 tubes surchauffeurs se rendant aux gros tubes situés à côté. C'est grâce à la disposition adoptée pour les collecteurs que l'on a pu satisfaire complètement aux trois conditions énumérées plus haut.

Le surchauffeur Vaughan-Horsey a été appliqué sur les locomotives suivantes du *Canadian Pacific Ry* (*) :

SÉRIE	NOMBRE	TYPE	SERVICE	DIAMÈTRE des roues motrices
740	45	4-6-0	marchandises	1^m,600
820	1	4-6-0	express	1^m,750
780 (*)	5	4-6-0	marchandises	1^m,600
1.150	3	4-6-2	express	1^m,750
1.100	3	4-6-2	express	1^m,900
1.640	20	2-8-0	marchandises	1^m,450

(*) Foyer à anthracite.

Résultats obtenus en service, avec les divers types de surchauffeurs, sur le réseau du Canadian Pacific Ry. — 1° *Comparaison avec les locomotives à vapeur saturée.* — La seule façon exacte de comparer les locomotives à vapeur surchauffée et saturée est de mesurer leur consommation de combustible rapportée à l'unité de travail effectué. Il serait inexact de comparer leurs consommations d'eau par unité de travail, parce qu'on ne tiendrait pas compte du rendement de la chaudière, qui est probablement modifié par l'application du surchauffeur : d'une part, la circulation des gaz est certainement changée par suite de l'introduction des gros tubes et de la réduction de la surface de chauffe ; d'autre part, le rendement dans la transmission de la chaleur des gaz à la vapeur, à travers les tubes

(*) Chiffres de juillet 1906.

Série	1200	1600	1621	1300	700	710	[illegible]
Type	2-8-0	2-8-0	2-8-0	4-6-0	4-6-0	4-6-0	4-6-0
Système	Compound	Schmidt	Schen. A	Compound	Schmidt	Schen. [illegible]	C. P. R.
Nombre de machines	41	20	21	37	10	55	[illegible]
Timbre	14^{kg},1	14^{kg},1	14^{kg},1	14^{kg},1		14^{kg},1	
Surface de grille	4^{m2},10	4^{m2},10	4^{m2},10	4^{m2},70		4^{m2},70	
Nombre de tubes ordinaires	281	244	255	378		244	
Diametre de ces tubes	50^{mm},8	50^{mm},8	50^{mm},8	50^{mm},8		50^{mm},8	
Nombre de gros tubes	»	22	55	»		22	
Diamètre de ces tubes	»	127^{mm}	76^{mm}	»		127^{mm}	
Longueur des tubes	4^{m},320	4^{m},300	4^{m},330	4^{m},450		4^{m},340	
Surface de chauffe des tubes	196^{m2}	208^{m2},50	254^{m2}	271^{m2}		210^{m2}	
Surface de chauffe du foyer	12^{m2},60	15^{m2},50	15^{m2},50	17^{m2}		17^{m2}	
Surface de chauffe totale	208^{m2},60	224^{m2}	269^{m2},50	288^{m2}		227^{m2}	
Surface de surchauffe	»	35^{m2},30	32^{m2}	»		35^{m2},30	
Diamètre des cylindres	560 et 890	535^{mm}	535^{mm}	560 et 890		535^{mm}	
Course des pistons	760	710	710	760		710	
Diamètre des roues motrices	1^{m},450	1^{m},450	1^{m},450	1^{m},600		1^{m},600	
Poids total	72^{t}	84^{t},5	84^{t},5	86^{t}		86^{t}	
Poids adhérent	63^{t},5	74^{t}	74^{t}	64^{t},5		64^{t}	

On voit que les machines 4-6-0 sont absolument comparables entre elles; les locomotives 2-8-0 ont moins d'analogie, car les compound sont sensiblement plus légères que les machines à surchauffeur; néanmoins elles ont la même surface de grille. On remarquera de plus que les machines 2-8-0 à surchauffeur ont sensiblement les mêmes chaudières que les locomotives 4-6-0, ce qui permet de comparer ces deux types entre eux.

En établissant les comparaisons, il faut tenir compte de ce que la consommation de charbon *varie considérablement* : 1° d'une section à l'autre en raison des différences de profil très accentuées (à côté des régions sans le moindre mouvement de terrain, comme la plaine du Winnipeg, on trouve de longues rampes de 10 à 15 millimètres dans la région du lac Supérieur et des déclivités atteignant jusqu'à 46 millimètres dans la traversée des Rocheuses ; toutefois cette dernière partie de la ligne n'est pas comprise dans les relevés qui suivront) ; 2° sur la même section, suivant les conditions atmosphériques (la consommation de charbon par tonne kilométrique est de 25 à 40 p. 100 plus élevée en hiver qu'en été), et 3° suivant le rapport qui existe entre les courants du trafic dirigés vers l'Est et vers l'Ouest. D'après ces considéra-

tions, la période d'été, où les conditions atmosphériques et le trafic sont plus constants, donne les meilleures indications, à condition que toutes les machines circulant sur la même section fassent à peu près le même travail, sinon les machines qui remorquent le plus de tonnes sont avantagées par rapport aux autres au point de vue de la consommation de charbon par tonne kilométrique. Le tableau suivant donne les résultats obtenus sur la division du lac Supérieur pendant l'été 1905 (de mai à octobre) : à cette époque, les machines des séries 700, 710 et 740 n'étaient pas encore en service ; on ne peut donc comparer que les compound 1200 (type 2-8-0) et 1300 (type 4-6-0) avec les machines à vapeur surchauffée (type 2-8-0) des séries 1600 (Schmidt) et 1621 (Schenectady A.).

SECTIONS	SÉRIES de locomotives	NOMBRE de locomotives en service	CONSOMMATION TOTALE de charbon (en tonnes)	CONSOMMATION de charbon par tonne kilométrique (en gr.)	CONSOMMATION ramenée à 100 pour les machines 1200
1 Chalk River North Bay	1621	7	2.762	39.9	97
	1600	5	875	34.8	85
	1300	3	159	35,4	86
	1200	8	1.020	41,0	100
2 North Bay Cartier Webbewood	1621	7	1.337	39,4	104
	1600	7	534	32,9	87
	1300	4	463	35,1	92
	1200	12	1.583	37,9	100
3 Schreiber Fort William	1621	5	122	45.0	122
	1600	3	31	29.8	81
	1300	4	675	43.8	118
	1200	16	3.515	37.0	100
4 White River Schreiber	1621	6	249	49.4	119
	1600	3	81	41.6	101
	1300	4	705	46.6	113
	1200	17	4.340	41,3	100
5 Chapleau White River	1621	3	241	43,5	96
	1600	11	3.745	37.6	83
	1300	3	766	44.1	97
	1200	15	467	45.4	100
6 Cartier Chapleau	1621	4	222	39,1	82
	1600	10	3.345	36,4	76
	1300	4	513	46,0	96
	1200	10	660	47,8	100

Les chiffres de la dernière colonne sont manifestement en faveur des locomotives 1600 munies du surchauffeur Schmidt ; toutefois il faut noter que, sur les sections 3 et 4, ces machines n'ont pas fait assez de service (ce que l'on reconnaît par les consommations totales de charbon) pour que les chiffres relatifs à ces deux cas aient de la valeur ; sur les quatre autres sections, on voit que leur consommation est respectivement 85 p. 100, 87 p. 100, 83 p. 100 et 76 p. 100 de celle des compound 1200 du même type 2-8-0. Les machines 162[illegible], à surchauffeur « Schenectady A », sont nettement inférieures aux machines 1600, et leur avantage sur les compound 1200 paraît fort douteux.

Le tableau précédent ne fournit aucune donnée sur les machines des séries 700 à surchauffeur Schmidt, 710 à surchauffeur « Schenectady B », et 740 à surchauffeur C. P. R. Ces machines commencèrent à être mises en service en septembre 1905 seulement, entre Fort William et Winnipeg (Central Division) : dans cette région, où la ligne est constamment en palier, les trains de marchandises sont remorqués par des machines 4-6-0, et la comparaison s'établit alors avec les compound à 2 cylindres de la série 1300. Les tableaux suivants donnent les renseignements relatifs aux 3 sections qui composent cette division, pour la période d'hiver.

SECTIONS	MOIS	CONSOMMATION TOTALE DE CHARBON (en tonnes)				CONSOMMATION PAR TONNE KILOMÉTRIQUE (en grammes)			
		1300	700	710	740	1300	700	710	740
1 Fort William-Ignace	Sept.	1.337	44	110	1.072	30,2	38,2	35,4	24,6
	Oct.	3.370	68	310	2.040	31,7	31,1	32,3	27,4
	Nov.	3.565	9	159	1.705	32,0	25,5	30,2	28,9
	Déc.	2.270	67	1.055	568	35,1	31,4	32,3	29,8
	Janv.	1.385	»	1.650	»	33,9	»	31,1	»
2 Ignace-Kenora	Sept.	435	823	1.465	»	31,1	28,0	30,4	»
	Oct.	1.169	1.745	3.330	»	30,8	32,3	33,9	»
	Nov.	520	1.610	3.660	»	34,5	33,0	35,4	»
	Déc.	132	834	3.056	9	36,0	31,4	35,1	30,2
	Janv.	29	495	2.185	»	47,8	35,7	35,1	»
3 Kenora-Winnipeg	Sept.	713	368	1.405	»	28,9	28,6	28,2	»
	Oct.	2.190	420	3.805	»	32,0	31,1	31,4	»
	Nov.	2.200	279	2.605	27	32,3	37,3	34,2	31,4
	Déc.	1.565	427	1.700	10	35,7	37,0	35,7	31,7
	Janv.	1.055	475	960	»	35,4	36,0	36,3	»

Ces tableaux montrent combien les consommations de charbon par tonne kilométrique varient pendant l'hiver sur une même section, et il est difficile d'en tirer des conclusions bien nettes pour les machines 700 et 710 ; il semble qu'en moyenne elles sont équivalentes entre elles, et présentent un très léger avantage sur les compound 1300. Quant aux machines 740 munies de surchauffeurs C. P. R., elles montrent, sur la première section (la seule où elles aient réellement travaillé), une économie notable, aussi bien par rapport aux locomotives à surchauffeurs Schmidt et « Schenectady B » que vis-à-vis des compound à 2 cylindres.

Il est évident que, si l'on cherchait à comparer les diverses classes en faisant la moyenne des consommations (par tonne kilométrique) réalisées par chacune d'elles pendant les différents mois et sur les différentes sections, on obtiendrait des chiffres qui n'auraient pas grande signification, en raison des conditions très variables du service. On pourrait annuler en partie l'effet de ces variations, en

évaluant, pour chaque mois et pour chaque section, le rapport des consommations (par tonne kilométrique) des différentes séries à l'une d'elles prise pour étalon, la série 1300 par exemple, et en faisant la moyenne des rapports ainsi obtenus, au lieu de faire la moyenne des consommations elles-mêmes. Mais on serait encore exposé à de graves erreurs provenant des différences considérables dans le travail total effectué chaque mois par les divers groupes de machines. Si l'on compare une série de locomotives à une autre ayant beaucoup moins travaillé, c'est-à-dire ayant une consommation totale de charbon bien plus faible, il est évident que la première sera grandement avantagée ; par exemple, en nous reportant au tableau précédent, relatif à la 2e section, on trouve qu'au mois de janvier les machines 700 et 710 ont réalisé une économie considérable (près de 30 p. 100) de charbon par tonne kilométrique par rapport aux compound 1300 ; mais cela tient uniquement à ce que les locomotives de cette dernière série ont très peu travaillé, puisqu'elles n'ont consommé au total que 29 tonnes de charbon dans le mois, contre 495 tonnes pour les 700 et 2.185 tonnes pour les 710.

Pour obtenir une comparaison aussi dégagée que possible de cette cause d'erreur, M. Vaughan a employé la méthode suivante : il prend pour terme de comparaison, dans chaque mois et sur chaque section, la série de machines qui a consommé au total le plus de charbon, et il calcule, pour chacune des autres séries, ce qu'aurait été leur consommation totale, si elles avaient réalisé la même consommation par tonne kilométrique que la machine étalon : on peut alors additionner, pour chaque série, les consommations totales réelles et les consommations calculées, et établir le rapport entre ces deux chiffres. La comparaison de ces rapports à l'un d'eux, ramené à 100, donne des coefficients permettant de se faire une idée de

l'économie réalisée par les différentes machines dans l'ensemble du service. Sans discuter la valeur de cette méthode originale, il est certain que les inconvénients des moyennes, signalés plus haut, sont en partie éliminés par ce mode d'opération, puisque les cas où les machines ont peu travaillé ne modifient guère le rapport final.

Prenons, par exemple, les résultats suivants :

MOIS	CONSOMMATION TOTALE DE CHARBON (en tonnes) 1200	1600	1621	CONSOMMATION PAR TONNE KILOMÉTRIQUE (en grammes) 1200	1600	1621
Mai	617	722	»	37,3	35,7	»
Juin	72,5	545	454	32,6	36,6	41,9
Juillet	100	91	816	40,4	43,5	40,4

Ils s'interprètent de la façon suivante :

MOIS	1200 total réel	1200 total calculé	1600 total réel	1600 total calculé	1621 total réel	1621 total calculé
Mai	617	$617 \times \frac{35.7}{37.3} = 590$	722	722	»	»
Juin	72,5	$72.5 \times \frac{36.6}{32.6} = 81.5$	545	545	454	$454 \times \frac{36.6}{41.9} = 396$
Juillet	100	$100 \times \frac{40.4}{40.4} = 100$	91	$91 \times \frac{40.4}{43.5} = 85$	816	816
TOTAL	789,5	771,5	1.358	1.352	1.270	1.212
Rapport $\frac{\text{réel}}{\text{calculé}}$	$\frac{789,5}{771,5} = 102.5$		$\frac{1358}{1352} = 100.5$		$\frac{1270}{1212} = 105$	
Coefficient d'économie par rapport aux 1200.	100		$100 \times \frac{100.5}{102.5} = 98$		$100 \times \frac{105}{102.5} = 102.5$	

En interprétant de cette manière le tableau donné plus haut pour la « Central Division », on obtient les chiffres suivants (septembre 1905 à janvier 1906 inclusivement) :

fer est donné à l'état de Fe^2O^3, bien qu'il soit en partie à l'état de Fe^3O^4). Ce dépôt provient des entraînements d'escarbilles qui se décomposent au contact des tubes sous l'influence des gaz chauds. Les locomotives en question brûlaient, en effet, un charbon de Springfield (Ill.) tenant de 8 à 18 p. 100 de cendres (moyenne 12 p. 100) qui renferment beaucoup de fer : évalués en Fe^2O^3, les composés de fer représentent 20 à 40 p. 100 des cendres. L'ingénieur du laboratoire des essais chimiques du *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, suppose que l'agglomération des cendres est due à la présence du soufre qui donnerait un sulfate ferrique ultérieurement décomposé en Fe^2O^3 ou même Fe^3O^4 : en effet, avec d'autres charbons aussi riches en fer, mais sans traces de soufre, on n'a pas eu de dépôt de ce genre.

En avril 1905, pour accroître le degré de surchauffe, M. Cole modifia légèrement l'arrangement du surchauffeur « Schenectady A », de façon à en augmenter considérablement la surface. Ce surchauffeur « Schenectady A modifié » fut appliqué à une locomotive 4-6-2 de l'*Erie R. R.*, en construction à Schenectady à cette époque. On s'est borné à augmenter la dimension des gros tubes où sont logés les tubes surchauffeurs, de façon à pouvoir en placer quatre au lieu d'un dans chacun d'eux. La chaudière renferme 32 gros tubes de 127 millimètres de diamètre extérieur, en 8 rangées verticales; chacun d'eux renferme 4 éléments Field, dont le tube extérieur a 38 millimètres de diamètre, et le tube intérieur 22 millimètres. Les tubes extérieurs sont fermés par soudure, et leur extrémité est forgée dans un support en fonte malléable libre de se déplacer longitudinalement dans le gros tube de 127 millimètres (Voir *fig.* 26). La surface de surchauffe atteint de la sorte $72^{m^2},70$ pour une surface de chauffe totale de 312 mètres carrés. Il n'a pas été fait d'expériences pour savoir si l'échec de ce surchauffeur provenait soit de la dis-

position des tubes, soit du chiffre élevé adopté pour le rapport de la surface de surchauffe à la surface de chauffe totale ; en tous cas, la locomotive munie de cet appareil est tellement inférieure aux machines du même type à vapeur saturée que ce surchauffeur est connu, à l'*Erie R. R.*, sous le nom ironique de « refrigerator ».

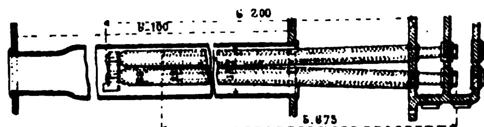


FIG. 26. — Élément du surchauffeur « Schenectady A modifié ».

3° Renonçant alors aux tubes Field, M. Cole a imaginé un nouveau surchauffeur dit « *Schenectady B* », se rapprochant du surchauffeur Schmidt par la disposition des tubes avec raccords en U aux extrémités R. On a conservé, sur ce nouveau type, la disposition précédemment adoptée pour les collecteurs. Toutefois l'abandon des tubes concentriques a permis de disposer, dans chaque collecteur partiel, les deux chambres à vapeur saturée et à vapeur surchauffée l'une à côté de l'autre, et non pas l'une derrière l'autre, comme dans le type précédent ; les tubes sont fixés dans les collecteurs partiels, comme dans une plaque tubulaire ordinaire, et des trous, obturés par des bouchons à vis, sont percés dans la paroi A' en face des tubes, de façon à permettre leur mise en place, et leur dudgeonnage en cas de fuites.

Ce surchauffeur a été appliqué en 1906, sur le réseau du *Canadian Pacific R^y*, à un lot de 55 locomotives type 4-6-0, de la série 710, absolument identiques comme dimensions (y compris celles du surchauffeur) aux locomotives de la série 700, à surchauffeur Schmidt, dont nous avons parlé plus haut ; le surchauffeur « Schenectady B » a donné complète satisfaction.

4° *Surchauffeur C. P. R. ou Vaughan-Horsey.* — Les expériences poursuivies au *Canadian Pacific R^y*, sur les surchauffeurs que nous venons de décrire, conduisirent M. Vaughan à déterminer d'une façon précise les conditions requises pour faciliter l'entretien et les réparations sur les appareils en service. Ces conditions sont les suivantes : « 1° Séparer aussi complètement que possible les attaches des tubes surchauffeurs sur les collecteurs ; — 2° Placer ces joints de telle façon qu'ils puissent être vérifiés facilement et rapidement ; — 3° Adopter une disposition permettant de démonter chaque tube surchauffeur sans toucher aux autres », et nous ajouterons : « sans même toucher aux collecteurs ».

Le surchauffeur Schmidt satisfait à la première condition, pourvu qu'on lui fasse subir la modification introduite sur les machines 700 du *Canadian Pacific R^y* (Voir plus haut) ; mais il ne réalise que médiocrement les deux autres. Les surchauffeurs « Schenectady A et B » ne satisfont guère à la première, et nullement aux deux dernières. « Cela ne veut pas dire, déclare M. Vaughan, que ces types de surchauffeurs soient sujets à des avaries en service, ni que leur entretien présente des difficultés spéciales, puisque l'inverse est précisément le cas ; mais les conditions indiquées ne sont pas irréalisables, et leur importance sera certainement appréciée par les dépôts qui auront charge des locomotives à surchauffeurs (*). »

C'est d'après ces considérations que MM. Vaughan et Horsey imaginèrent le type de surchauffeur qu'ils désignent sous le nom de « C. P. R. » (Voir Pl. XVI). La vapeur saturée, venant du régulateur, aboutit à la partie supérieure d'un collecteur à quatre branches (Pl. XVI, *fig.* 3) par lesquelles elle se rend dans les tubes surchauf-

(*) Conférence faite par M. H.-H. Vaughan devant le *New York Railroad Club*, à la reunion du 20 avril 1906.

teurs : ce sont des tubes d'acier sans soudure, de $31^{mm},8$ de diamètre extérieur et 4 millimètres d'épaisseur; leur extrémité est recourbée à chaud, puis forgée sur matrice suivant la forme indiquée par la *fig.* 4 de la Pl. XVI. Un écrou en bronze sert à fixer l'extrémité du tube sur une pièce en acier moulé qui se visse dans les trous du collecteur : une bague en cuivre rouge, de 27 millimètres, est placée dans l'écrou pour assurer l'étanchéité du joint. Les tubes surchauffeurs s'étendent à l'intérieur de gros tubes de 127 millimètres de diamètre, jusqu'à une distance d'environ $0^{m},75$ de la plaque tubulaire R. Ils pénètrent alors dans des raccords en **U** en acier moulé (Voir Pl. XVI, *fig.* 5); de ces raccords, la vapeur revient, par des tubes surchauffeurs identiques reliés par les mêmes écrous en bronze et les mêmes pièces en acier moulé, aux cinq branches du collecteur de vapeur surchauffée (Pl. XVI, *fig.* 6). Ce collecteur est relié, par des conduites, aux boîtes à tiroirs (Pl. XVI, *fig.* 1). Chaque gros tube de 127 millimètres renferme 2 tubes surchauffeurs provenant du collecteur de vapeur saturée, et les 2 tubes correspondants allant au collecteur de vapeur surchauffée : les raccords en **U** portent des saillies destinées à maintenir en place les extrémités des tubes surchauffeurs tout en permettant leur dilatation. Les gros tubes sont au nombre de 22, renfermant 88 tubes surchauffeurs, de sorte que, pour les machines du type 4-6-0, la plaque tubulaire A' est absolument identique à celle qui est usitée sur les machines 700 munies de surchauffeurs Schmidt et sur les machines 710 munies de surchauffeurs « Schenectady B » : la surface de surchauffe reste la même dans les trois cas.

Le caractère le plus important du surchauffeur Vaughan-Horsey est la disposition du collecteur : afin de ne pas gêner le passage des gaz dans les gros tubes, les branches des deux collecteurs se trouvent placées alternativement entre les rangées verticales de ces tubes, devant les

intervalles pleins de la plaque tubulaire. Les pièces en acier moulé, vissées sur les collecteurs, reçoivent alors, suivant leur place, 1, 2, 3 et (la plupart) 4 tubes surchauffeurs se rendant aux gros tubes situés à côté. C'est grâce à la disposition adoptée pour les collecteurs que l'on a pu satisfaire complètement aux trois conditions énumérées plus haut.

Le surchauffeur Vaughan-Horsey a été appliqué sur les locomotives suivantes du *Canadian Pacific Ry* (*) :

SÉRIE	NOMBRE	TYPE	SERVICE	DIAMÈTRE des roues motrices
740	45	4-6-0	marchandises	1m,600
820	1	4-6-0	express	1m,750
780 (*)	5	4-6-0	marchandises	1m,600
1.150	3	4-6-2	express	1m,750
1.100	3	4-6-2	express	1m,900
1.640	20	2-8-0	marchandises	1m,450

(*) Foyer à anthracite.

Résultats obtenus en service, avec les divers types de surchauffeurs, sur le réseau du Canadian Pacific Ry. — 1° *Comparaison avec les locomotives à vapeur saturée.* — La seule façon exacte de comparer les locomotives à vapeur surchauffée et saturée est de mesurer leur consommation de combustible rapportée à l'unité de travail effectué. Il serait inexact de comparer leurs consommations d'eau par unité de travail, parce qu'on ne tiendrait pas compte du rendement de la chaudière, qui est probablement modifié par l'application du surchauffeur : d'une part, la circulation des gaz est certainement changée par suite de l'introduction des gros tubes et de la réduction de la surface de chauffe ; d'autre part, le rendement dans la transmission de la chaleur des gaz à la vapeur, à travers les tubes

(*) Chiffres de juillet 1906.

surchauffeurs, n'est sans doute pas le même qu'entre les gaz et l'eau à travers les tubes ordinaires (*). On doit donc considérer le « rendement global » de la machine, ce qui ne peut se faire qu'au moyen des consommations de charbon par unité de travail. Pour obtenir ces données, il est nécessaire d'exécuter de nombreuses expériences au moyen d'un wagon-dynamomètre enregistrant l'effort de traction : celui du *Canadian Pacific Ry* étant encore en construction, les seules données que l'on puisse interpréter actuellement sont les *consommations de charbon* et les *nombres de tonnes remorquées*. D'ailleurs, quelle que soit l'infériorité de ces renseignements vis-à-vis des indications d'un wagon-dynamomètre, ils ont néanmoins une grande valeur, parce qu'ils s'appliquent au travail effectué, — pendant des périodes de six mois, — par un grand nombre de locomotives, — travaillant ensemble, en service régulier, sans équipes spéciales, — et circulant sur des sections de ligne dont le profil et le trafic sont très différents.

Les comparaisons faites au *Canadian Pacific Ry* n'ont porté que sur les locomotives *à marchandises* des types 4-6-0 et 2-8-0, le nombre des locomotives express à vapeur surchauffée étant trop restreint pour donner lieu à des conclusions générales. De plus, comme toutes les locomotives à marchandises construites dans ces dernières années (avant 1904, époque depuis laquelle on n'a plus construit, sur ce réseau, que des machines à surchauffe et à simple expansion) sont du système *compound à deux cylindres*, on n'a pu mettre en regard des locomotives à vapeur surchauffée que ce type de machines. Les séries de locomotives comparées sont les suivantes :

(*) Ces considérations sont développées plus longuement dans le rapport présenté par M. Vaughan au XXXVIIIe Congrès de la *Master Mechanics' Association*, tenu à Manhattan Beach en juin 1905.

Série	1200	1600	1621	1300	700	710	740
Type	2-8-0	2-8-0	2-8-0	4-6-0	4-6-0	4-6-0	4-6-
Système	Compound	Schmidt	Schen. A	Compound	Schmidt	Schen. B	C. P.
Nombre de machines	41	20	21	37	10	55	30
Timbre	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$	$14^{kg},1$		$14^{kg},1$	
Surface de grille	$4^{m2},10$	$4^{m2},10$	$4^{m2},10$	$4^{m2},70$		$4^{m2},70$	
Nombre de tubes ordinaires	281	244	255	378		244	
Diamètre de ces tubes	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$	$50^{mm},8$		$50^{mm},5$	
Nombre de gros tubes	»	22	55	»		22	
Diamètre de ces tubes	»	127^{mm}	76^{mm}	»		127^{mm}	
Longueur des tubes	$4^{m},320$	$4^{m},300$	$4^{m},330$	$4^{m},450$		$4^{m},340$	
Surface de chauffe des tubes	196^{m2}	$208^{m2},50$	254^{m2}	271^{m2}		210^{m2}	
Surface de chauffe du foyer	$12^{m2},60$	$15^{m2},50$	$15^{m2},50$	17^{m2}		17^{m2}	
Surface de chauffe totale	$208^{m2},60$	224^{m2}	$269^{m2},50$	288^{m2}		227^{m2}	
Surface de surchauffe	»	$35^{m2},30$	32^{m2}	»		$35^{m2},30$	
Diamètre des cylindres	560 et 890	535^{mm}	535^{mm}	560 et 890		535^{mm}	
Course des pistons	760	710	710	760		710	
Diamètre des roues motrices	$1^{m},450$	$1^{m},450$	$1^{m},450$	$1^{m},600$		$1^{m},600$	
Poids total	72^{t}	$84^{t},5$	$84^{t},5$	86^{t}		85^{t}	
Poids adhérent	$63^{t},5$	74^{t}	74^{t}	$64^{t},5$		64^{t}	

On voit que les machines 4-6-0 sont absolument com parables entre elles ; les locomotives 2-8-0 ont moins d'analogie, car les compound sont sensiblement plus légères que les machines à surchauffeur ; néanmoins elles ont la même surface de grille. On remarquera de plus que les machines 2-8-0 à surchauffeur ont sensiblement les mêmes chaudières que les locomotives 4-6-0, ce qui permet de comparer ces deux types entre eux.

En établissant les comparaisons, il faut tenir compte de ce que la consommation de charbon *varie considérablement :* 1° d'une section à l'autre en raison des différences de profil très accentuées (à côté des régions sans le moindre mouvement de terrain, comme la plaine du Winnipeg, on trouve de longues rampes de 10 à 15 millimètres dans la région du lac Supérieur et des déclivités atteignant jusqu'à 46 millimètres dans la traversée des Rocheuses ; toutefois cette dernière partie de la ligne n'est pas comprise dans les relevés qui suivront) ; 2° sur la même section, suivant les conditions atmosphériques (la consommation de charbon par tonne kilométrique est de 25 à 40 p. 100 plus élevée en hiver qu'en été), et 3° suivant le rapport qui existe entre les courants du trafic dirigés vers l'Est et vers l'Ouest. D'après ces considéra-

tions, la période d'été, où les conditions atmosphériques et le trafic sont plus constants, donne les meilleures indications, à condition que toutes les machines circulant sur la même section fassent à peu près le même travail, sinon les machines qui remorquent le plus de tonnes sont avantagées par rapport aux autres au point de vue de la consommation de charbon par tonne kilométrique. Le tableau suivant donne les résultats obtenus sur la division du lac Supérieur pendant l'été 1905 (de mai à octobre) : à cette époque, les machines des séries 700, 710 et 740 n'étaient pas encore en service ; on ne peut donc comparer que les compound 1200 (type 2-8-0) et 1300 (type 4-6-0) avec les machines à vapeur surchauffée (type 2-8-0) des séries 1600 (Schmidt) et 1621 (Schenectady A.).

SECTIONS	SÉRIES de locomotives	NOMBRE de locomotives en service	CONSOMMATION TOTALE de charbon (en tonnes)	CONSOMMATION de charbon par tonne kilométrique (en gr.)	CONSOMMATION ramenée à 100 pour les machines 1200
1 Chalk River North Bay	1621 1600 1300 1200	7 5 3 8	2.762 875 159 1.020	39,9 34.8 35.4 41,0	97 85 86 100
2 North Bay Cartier Webbewood	1621 1600 1300 1200	7 7 4 12	1.337 534 463 1.583	39,4 32,9 35,1 37,9	104 87 92 100
3 Schreiber Fort William	1621 1600 1300 1200	5 3 4 16	122 31 675 3.515	45,0 29,8 43,8 37,0	122 81 118 100
4 White River Schreiber	1621 1600 1300 1200	6 3 4 17	249 81 705 4.340	49,4 41,6 46,6 41,3	119 101 113 100
5 Chapleau White River	1621 1600 1300 1200	3 11 3 15	241 3.745 766 467	43,5 37,6 44,1 45,4	96 83 97 100
6 Cartier Chapleau	1621 1600 1300 1200	4 10 4 10	222 3.345 513 660	39,1 36,4 46,0 47,8	82 76 96 100

Les chiffres de la dernière colonne sont manifestement en faveur des locomotives 1600 munies du surchauffeur Schmidt ; toutefois il faut noter que, sur les sections 3 et 4, ces machines n'ont pas fait assez de service (ce que l'on reconnait par les consommations totales de charbon) pour que les chiffres relatifs à ces deux cas aient de la valeur ; sur les quatre autres sections, on voit que leur consommation est respectivement 85 p. 100, 87 p. 100, 83 p. 100 et 76 p. 100 de celle des compound 1200 du même type 2-8-0. Les machines 1621, à surchauffeur Schenectady A », sont nettement inférieures aux machines 1600, et leur avantage sur les compound 1200 paraît fort douteux.

Le tableau précédent ne fournit aucune donnée sur les machines des séries 700 à surchauffeur Schmidt, 710 à surchauffeur « Schenectady B », et 740 à surchauffeur C. P. R. Ces machines commencèrent à être mises en service en septembre 1905 seulement, entre Fort William et Winnipeg (Central Division) : dans cette région, où la ligne est constamment en palier, les trains de marchandises sont remorqués par des machines 4-6-0, et la comparaison s'établit alors avec les compound à 2 cylindres de la série 1300. Les tableaux suivants donnent les renseignements relatifs aux 3 sections qui composent cette division, pour la période d'hiver.

SECTIONS	MOIS	CONSOMMATION TOTALE DE CHARBON (en tonnes)				CONSOMMATION PAR TONNE KILOMÉTRIQUE (en grammes)			
		1300	700	710	740	1300	700	710	740
1 Fort William-Ignace	Sept.	1.337	44	110	1.072	30,2	38,2	35,4	24,6
	Oct.	3.370	68	310	2.040	31,7	31,1	32,3	27,4
	Nov.	3.565	9	159	1.705	32,0	25,5	30,2	28,9
	Déc.	2.270	67	1.055	568	35,1	31,4	32,3	29,8
	Janv.	1.385	»	1.650	»	33,9	»	31,1	»
2 Ignace-Kenora	Sept.	435	823	1.465	»	31,1	28,0	30,4	»
	Oct.	1.169	1.745	3.330	»	30,8	32,3	33,9	»
	Nov.	520	1.610	3.660	»	34,5	33,0	35,4	»
	Déc.	132	834	3.056	9	36,0	31,4	35,1	30,2
	Janv.	29	495	2.185	»	47,8	35,7	35,1	»
3 Kenora-Winnipeg	Sept.	713	368	1.405	»	28,9	28,6	28,2	»
	Oct.	2.190	420	3.805	»	32,0	31,1	31,4	»
	Nov.	2.200	279	2.605	27	32,3	37,3	34,2	31,4
	Déc.	1.565	427	1.700	10	35,7	37,0	35,7	31,7
	Janv.	1.055	475	960	»	35,4	36,0	36,3	»

Ces tableaux montrent combien les consommations de charbon par tonne kilométrique varient pendant l'hiver sur une même section, et il est difficile d'en tirer des conclusions bien nettes pour les machines 700 et 710 ; il semble qu'en moyenne elles sont équivalentes entre elles, et présentent un très léger avantage sur les compound 1300. Quant aux machines 740 munies de surchauffeurs C. P. R., elles montrent, sur la première section (la seule où elles aient réellement travaillé), une économie notable, aussi bien par rapport aux locomotives à surchauffeurs Schmidt et « Schenectady B » que vis-à-vis des compound à 2 cylindres.

Il est évident que, si l'on cherchait à comparer les diverses classes en faisant la moyenne des consommations (par tonne kilométrique) réalisées par chacune d'elles pendant les différents mois et sur les différentes sections, on obtiendrait des chiffres qui n'auraient pas grande signification, en raison des conditions très variables du service. On pourrait annuler en partie l'effet de ces variations, en

valuant, pour chaque mois et pour chaque section, le rapport des consommations (par tonne kilométrique) des différentes séries à l'une d'elles prise pour étalon, la série 1300 par exemple, et en faisant la moyenne des rapports ainsi obtenus, au lieu de faire la moyenne des consommations elles-mêmes. Mais on serait encore exposé à de graves erreurs provenant des différences considérables dans le travail total effectué chaque mois par les divers groupes de machines. Si l'on compare une série de locomotives à une autre ayant beaucoup moins travaillé, c'est-à-dire ayant une consommation totale de charbon bien plus faible, il est évident que la première sera grandement avantagée ; par exemple, en nous reportant au tableau précédent, relatif à la 2e section, on trouve qu'au mois de janvier les machines 700 et 710 ont réalisé une économie considérable (près de 30 p. 100) de charbon par tonne kilométrique par rapport aux compound 1300 ; mais cela tient uniquement à ce que les locomotives de cette dernière série ont très peu travaillé, puisqu'elles n'ont consommé au total que 29 tonnes de charbon dans le mois, contre 495 tonnes pour les 700 et 2.185 tonnes pour les 710.

Pour obtenir une comparaison aussi dégagée que possible de cette cause d'erreur, M. Vaughan a employé la méthode suivante : il prend pour terme de comparaison, dans chaque mois et sur chaque section, la série de machines qui a consommé au total le plus de charbon, et il calcule, pour chacune des autres séries, ce qu'aurait été leur consommation totale, si elles avaient réalisé la même consommation par tonne kilométrique que la machine étalon : on peut alors additionner, pour chaque série, les consommations totales réelles et les consommations calculées, et établir le rapport entre ces deux chiffres. La comparaison de ces rapports à l'un d'eux, ramené à 100, donne des coefficients permettant de se faire une idée de

l'économie réalisée par les différentes machines dans l'ensemble du service. Sans discuter la valeur de cette méthode originale, il est certain que les inconvénients des moyennes, signalés plus haut, sont en partie éliminés par ce mode d'opération, puisque les cas où les machines ont peu travaillé ne modifient guère le rapport final.

Prenons, par exemple, les résultats suivants :

MOIS	CONSOMMATION TOTALE DE CHARBON (en tonnes)			CONSOMMATION PAR TONNE KILOMÉTRIQUE (en grammes)		
	1200	1600	1621	1200	1600	1621
Mai	617	722	»	37,3	35,7	»
Juin	72,5	545	454	32,6	36,6	41,9
Juillet	100	91	816	40,4	43,5	40,4

Ils s'interprètent de la façon suivante :

MOIS	1200		1600		1621	
	total réel	total calculé	total réel	total calculé	total réel	total calculé
Mai	617	$617 \times \frac{35,7}{37,3} = 590$	722	722	»	»
Juin	72,5	$72,5 \times \frac{36,6}{32,6} = 81,5$	545	545	454	$454 \times \frac{36,6}{41,9} = 396$
Juillet	100	$100 \times \frac{40,4}{40,4} = 100$	91	$91 \times \frac{40,4}{43,5} = 85$	816	816
TOTAL	789,5	771,5	1.358	1.352	1.270	1.212
Rapport $\frac{\text{réel}}{\text{calculé}}$	$\frac{789,5}{771,5} = 102,5$		$\frac{1358}{1352} = 100,5$		$\frac{1270}{1212} = 105$	
Coefficient d'économie par rapport aux 1200.	100		$100 \times \frac{100,5}{102,5} = 98$		$100 \times \frac{105}{102,5} = 102,5$	

En interprétant de cette manière le tableau donné plus haut pour la « Central Division », on obtient les chiffres suivants (septembre 1905 à janvier 1906 inclusivement) :

Coefficients d'économie par rapport aux 1300 calculés pour chaque section.	1300 compound 4-6-0	700 Schmidt 4-6-0	710 Schen. B. 4-6-0	740 C. P. R. 4-6-0
Fort William-Ignace	100	101,0	88,5	84,7
Ignace-Kenora	100	98,3	105,0	»
Kenora-Winnipeg	100	100,8	100,5	»
Coefficients d'économie par rapport aux 1300 calculés pour l'ensemble de la Central Division.	100	100,7	99,5	85,5

Pour les mois de mai 1905 à janvier 1906 inclusivement, la division du lac Supérieur fournit les données suivantes :

Coefficients d'économie par rapport aux 1200 calculés pour chaque section.	1200 compound 2-8-0	1600 Schmidt 2-8-0	1621 Schen. A. 2-8-0	1300 compound 4-6-0	710 Schen. B. 4-6-0	740 C. P. R. 4-6-0
Chalk River-North Bay	100	105,0	102,0	100,6	»	90,7
North Bay-Cartier	100	94,8	104,6	91,2	»	94,2
Cartier-Chapleau	100	84,6	98,2	95,6	89,7	86,7
Chapleau-White River	100	93,2	108,5	103,0	102,0	90,4
White River-Schreiber	100	112,2	106,7	111,6	100,0	93,7
Schreiber-F[t] William	100	106,0	109,7	113,5	102,0	90,0
Coefficients d'économie par rapport aux 1200 calculés pour l'ensemble de la division du lac Supérieur.	100	98,5	104,0	106,5	104,2	94,0

En rapportant ces résultats pour chaque type de machine à la locomotive correspondante (1200 pour les 2-8-0 et 1300 pour les 4-6-0), les deux tableaux précédents s'interprètent ainsi :

DIVISION	TYPE	COMPOUND	SCHMIDT	SCHEN. A.	SCHEN. B.	C. P. R.
Lake Superior	2-8-0	100	98,5	104,0	»	»
Lake Superior	4-6-0	100	»	»	98,0	88,0
Central	4-6-0	100	100,7	»	99,5	85,5

On peut déduire de ces chiffres que : 1° *les locomotives munies de surchauffeurs Schmidt et « Schenectady B. » sont au moins aussi économiques que les compound à deux cylindres*, et que : 2° *les machines munies de surchauffeurs « C. P. R. » leur sont nettement supérieures;* l'infériorité du surchauffeur « Schenectady A » ayant déjà été indiquée plus haut, nous n'y reviendrons pas.

2° *Degrés de surchauffe obtenus.* — On a constaté naturellement que le degré de surchauffe variait dans le même sens que les coefficients d'économie : la moyenne des résultats obtenus peut se traduire ainsi :

Surchauffeur	Schmidt...........	55°	de surchauffe
»	Schenectady A.....	11°	»
»	Schenectady B.....	55°	»
»	C. P. R............	78°	»

Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, il s'agit de surchauffeurs représentant la même surface (en tubes), montés dans des chaudières identiques. Nous avons indiqué que l'infériorité du surchauffeur « Schenectady A » est due à l'emploi des tubes Field, et que, d'après les diagrammes donnés par M. Vaughan, on ne doit pas chercher à réchauffer la vapeur saturée qui entre dans l'appareil en empruntant de la chaleur à la vapeur surchauffée qui en sort. Mais il reste à expliquer la différence de 40 p. 100 entre les degrés de surchauffe obtenus, avec des faisceaux tubulaires identiques, par les appareils Schmidt et « Schenectady B », d'une part, et le surchauffeur « C. P. R. », de l'autre. M. Vaughan estime que la supériorité de ce dernier tiendrait peut-être à ce que la section des branches du collecteur va en décroissant vers leurs extrémités (Voir Pl. XVI, *fig.* 3 et 6), ce qui donnerait une résistance plus uniforme aux divers circuit que peut parcourir la vapeur dans les tubes surchauffeurs : par suite, cette vapeur se répartirait plus également entre

es divers circuits, de sorte que le surchauffeur serait mieux utilisé. Il nous semble plus probable que cette différence tient surtout à la disposition générale du collecteur, qui : 1° ne gênant pas le passage des gaz à la sortie des gros tubes, leur permet d'y passer en plus grande quantité, et 2° se trouvant néanmoins à proximité de la sortie des gaz de ces tubes, et présentant une surface extérieure très développée, doit contribuer, pour une certaine part, à l'échange de chaleur entre les gaz et la vapeur : le surchauffeur Schmidt est équivalent à l'appareil « C. P. R. » pour le premier point ; mais son infériorité proviendrait du second ; pour le surchauffeur « Schenectady B », ce serait l'inverse.

On a obtenu des degrés de surchauffe encore plus élevés avec les appareils « C. P. R. » montés sur des locomotives express (1 du type 4-6-0 et 6 du type 4-6-2) (*). La sur-

(*) Ces locomotives étant très peu nombreuses, nous n'en avons pas parlé lors des comparaisons avec les machines à vapeur saturée, parce que l'on ne peut pas établir de moyenne générale éliminant l'influence des conditions particulières.

Voici néanmoins les résultats obtenus par la machine 820 du type 4-6-0 à surchauffeur C. P. R., comparée aux locomotives 823 et 838, identiques, mais sans surchauffeur ; ces chiffres se rapportent aux parcours effectués de juin 1905 à octobre 1905 inclusivement, entre Chalk River et North Bay.

MACHINES	CONSOMMATION TOTALE (tonnes)	CONSOMMATION PAR TONNE KILOMÉTRIQUE (grammes)	RAPPORT à la consommation de la machine 820
820	665	44,6	100
823	692	49,7	111
838	828	61,8	139

On voit que la différence existant entre les locomotives 823 et 838, cependant identiques, est plus grande qu'entre la meilleure d'entre elles (823) et la machine à surchauffeur (820), de sorte que ces résultats indiquent seulement que la machine à surchauffeur est plus économique que les autres, mais sans que l'on puisse chiffrer exactement cet avantage.

chauffe varie en service entre 90° et 110° C., c'est-à-dire que l'on atteint le même degré de surchauffe qu'avec les appareils placés dans la boîte à fumée. D'après des diagrammes relevés sur la machine 820 (type 4-6-0), en juin et juillet 1905, la surchauffe varie en service de la façon suivante : elle est naturellement nulle au départ, atteint de 45° à 60° au bout de 2 kilomètres, de 60° à 75° au bout de 3 kilomètres, et prend sa valeur de régime (90° à 110°) au bout de 6 kilomètres environ. Les variations sont ensuite très faibles, leur amplitude ne dépassant pas 20° à 25°, sauf lorsqu'on ferme momentanément le régulateur sur une longue pente.

3° *Conclusions.* — De ces expériences il résulte que les machines à surchauffeur peuvent réaliser un « rendement global » égal ou supérieur à celui des compound. Pour achever la comparaison, il reste à voir si les machines à surchauffeurs ne présentent pas d'inconvénients qui contre balanceraient cet avantage.

On a reproché, en Amérique, aux locomotives à vapeur surchauffée allemandes (*), la complication de leurs tiroirs cylindriques spéciaux. Mais on a reconnu, tant au *Canadian Pacific Ry* qu'au *Chicago Rock Island and Pacific Ry*, que ces particularités étaient inutiles, et que l'on ouvait parfaitement employer les tiroirs cylindriques usités sur les machines à vapeur saturée, sans autre précaution que celle d'un graissage soigné. Il est vrai que ce raissage doit être assuré d'une façon plus parfaite qu'à ordinaire; néanmoins, après avoir essayé différents types e graisseurs mécaniques, on a constaté que les graisseurs its « à goutte visible » (« sight feed lubricator »), du enre Detroit, Michigan, Nathan, etc., répondaient parfaitement aux desiderata, à la condition de posséder 6 départs distincts : un pour chaque cylindre (aboutissant au

(*) Le même reproche s'appliquerait aux machines belges.

milieu de la génératrice supérieure), et un pour chaque extrémité des chambres à tiroirs. Dans ces conditions, si l'on emploie de la fonte dure pour les segments de pistons et de tiroirs cylindriques, on n'a pas plus d'usure ni d'avaries que sur les autres locomotives.

De plus, l'élévation du timbre, introduite pour augmenter la puissance et le rendement des machines à vapeur saturée, devient bien moins importante dans le cas de la vapeur surchauffée, — ce qui permet, par exemple, de revenir à la pression de $12^{kg},3$ usitée précédemment en Amérique, au lieu de celle de $14^{kg},1$ qui est actuellement adoptée par la plupart des réseaux pour les machines à simple expansion (cette réduction a été effectuée sur les dernières machines 2-8-0 à surchauffeur Vaughan-Horsey, du Canadian Pacific R^y) : il suffit, pour retrouver la même puissance en conservant le degré d'admission usité auparavant, d'augmenter le diamètre des cylindres. Cette réduction du timbre procure une économie considérable sur les frais d'entretien des chaudières (sans parler de l'augmentation des fuites et de la fréquence des avaries résultant de l'adoption des timbres élevés) ; d'après M. Vaughan, il est probable que cette économie, réalisée sans perte de puissance, annulerait rapidement le supplément de frais de premier établissement résultant de l'application du surchauffeur ; en tous cas, l'expérience du *Canadian Pacific R^y* montre que les frais d'entretien du surchauffeur sont peu élevés, et certainement très inférieurs à l'économie que l'abaissement du timbre permettrait de réaliser.

VI.

LOCOMOTIVES AU PÉTROLE.

Les deux grandes Compagnies du *Southern Pacific* et de l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* utilisent le *pétrole brut de Californie* comme *unique* combustible sur toutes les locomotives circulant sur leurs lignes de Californie et de certains Etats avoisinants (*). L'importance de cette application en grand du pétrole au chauffage des locomotives résulte des chiffres suivants (**) : le pétrole de Californie est employé par le *Southern Pacific* sur 1.100 locomotives affectées à 4.500 kilomètres de voies ferrées, — et par l'*Atchison Topeka and Santa Fé Ry* sur 650 locomotives circulant sur 2.800 kilomètres de lignes. Nous croyons donc intéressant de donner ici quelques renseignements à ce sujet.

Nous décrirons d'abord les dispositions adoptées pour l'usage du pétrole sur les locomotives et tenders, — puis nous donnerons quelques résultats d'expériences comparatives entre les locomotives au charbon et au pétrole, — enfin nous décrirons l'installation des dépôts pour locomotives au pétrole.

Jusque vers 1900, toutes les locomotives construites pour le chauffage au pétrole étaient de types assez particuliers ; la plupart d'entre elles possédaient des *chaudières Vanderbilt*, qui se distinguent de la chaudière ordinaire de locomotive par la disposition de leur foyer construit

(*) Les mêmes Compagnies utilisent également le pétrole du *Texas* sur les lignes qui traversent cet Etat. Comme les dispositions adoptées sont les mêmes qu'en Californie, nous bornerons notre étude à cette dernière région, où le développement du chauffage des locomotives au pétrole est plus récent.

(**) Chiffres de mai 1906.

spécialement en vue de brûler du pétrole. Le foyer Vanderbilt est constitué par un cylindre en tôle d'acier ondulée, partiellement recouvert de briques réfractaires, et dont l'axe est parallèle à celui de la chaudière. Au bas de ce foyer se trouve un brûleur dirigé horizontalement et porté par la face AR du foyer. Dans d'autres locomotives, on avait disposé trois foyers identiques de moindre diamètre, ayant chacun leur brûleur à pétrole. On donnait comme argument en faveur de la chaudière Vanderbilt son prix de construction moins élevé en raison de la simplicité de son foyer (au moins dans le cas du foyer unique), simplicité résultant surtout de l'absence d'entretoises. Mais ce foyer était sujet à de fréquentes avaries; la plus grave consistait dans l'aplatissement complet du foyer, incapable de résister aux pressions élevées des chaudières des nouvelles locomotives. Par suite, on semble avoir définitivement renoncé à la chaudière Vanderbilt, aussi bien au *S. P.* qu'au *Santa-Fé* (*) ; non seulement on n'en a pas monté une seule sur toutes les locomotives à pétrole construites depuis 1902 (et elles sont très nombreuses), mais on ne répare plus les anciennes que lorsque les avaries ne sont pas trop importantes; sinon on transforme la chaudière d'après les nouvelles idées que nous allons exposer : nous n'insisterons pas davantage sur la chaudière Vanderbilt, qui semble devoir disparaître peu à peu des réseaux que nous étudions ici.

Dans les nouvelles chaudières, on a simplement adopté la forme générale du foyer ordinaire à grille, mais en le modifiant en vue de la combustion du pétrole. Le grand avantage de cette construction, malgré son prix de premier établissement plus élevé que pour le foyer Vanderbilt (inconvénient compensé, il est vrai, par la réduction de

(*) Dans ce qui va suivre, nous désignerons ainsi en abrégé le Southern Pacific et l'Atchison Topeka and Santa Fé Ry.

l'importance et de la fréquence des réparations), est la possibilité de transformer la locomotive au pétrole en une locomotive au charbon; cette transformation peut être nécessaire pour deux raisons : 1° le S. P. et le Santa-Fé possèdent des locomotives ordinaires au charbon sur une grande partie de leurs lignes qui traversent des territoires très éloignés des régions pétrolifères, et voisins de mines de houille, de sorte que la balance économique l'emporte nettement en faveur de ce dernier combustible : il peut donc être fort utile de pouvoir changer les locomotives de région lors de l'introduction d'une nouvelle série, d'un nouveau type ou lors de la construction d'une nouvelle ligne; 2° les prix du charbon et du pétrole sont sujets, dans l'Ouest américain, à des variations brusques et considérables : on ne peut donc pas prévoir s'il sera plus tard avantageux de généraliser soit l'emploi du pétrole, soit celui du charbon sur un certain nombre de lignes : il est donc avantageux de pouvoir transformer facilement les locomotives pour les faire passer d'un mode de combustible à l'autre.

Au Santa-Fé, on évalue les frais de transformation à 800 dollars (4.000 francs) par locomotive, et 700 dollars (3.500 francs) par tender.

De plus, on simplifie beaucoup le travail de réparation aux ateliers en adoptant un seul type de foyer pour les locomotives au pétrole et les locomotives au charbon.

Dans les locomotives actuelles du S. P. et du Santa-Fé, le foyer au pétrole se distingue simplement du foyer au charbon par le *fond revêtu de briques* qui remplace la grille ordinaire. Pour la transformation, il suffirait donc de démonter le fond du foyer et d'y adapter une grille et un cendrier.

Toutes les locomotives actuelles sont construites avec *un seul brûleur* à pétrole. Au Santa-Fé et sur la plupart des locomotives du S. P., *ce brûleur est placé sur la face AR du foyer*, comme le représentent les figures ci-contre

relatives aux locomotives à 5 essieux couplés (type 2-10-2) du Santa-Fé. Le foyer possède un fond rapporté à l'endroit où se trouve d'ordinaire la grille, et descendant entre les roues et les longerons (Voir *fig.* 27), comme le ferait normalement le cendrier. Sur la face AV du foyer, vis-à-vis du brûleur, se trouve un épais revêtement en briques réfractaires prolongé vers l'AR par une *voûte en briques*;

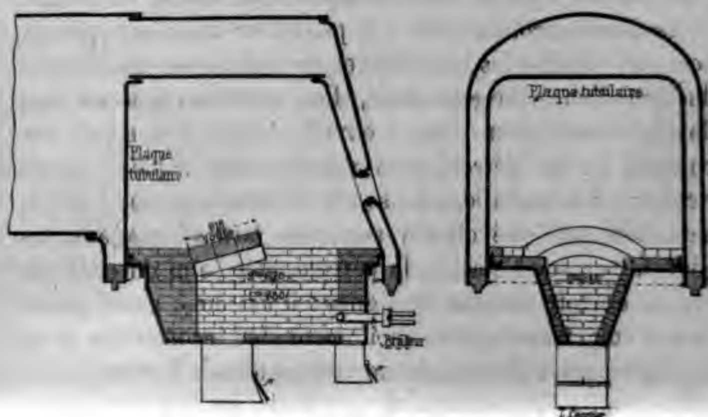


Fig. 27. — Foyer des locomotives au pétrole; type 2-10-2, du Santa-Fé.

cette disposition présente plusieurs avantages : elle forme d'abord réservoir de chaleur pour régulariser la température (*); — de plus, elle protège la plaque tubulaire contre l'action directe de la flamme ; — enfin, en provoquant le brassage des gaz et le retour de la flamme en arrière, elle assure une combustion complète du pétrole. Le foyer porte deux entrées d'air indépendantes, la première sous le brûleur et la seconde sous la voûte; le mécanicien manœuvre les portes d'entrée d'air en se réglant sur la couleur de la flamme et sur l'éclat de la voûte en briques.

(*) La température élevée de la voûte en briques se conserve d'ailleurs quelque temps, ce qui permet de rallumer automatiquement le brûleur après une extinction de faible durée.

Sur les dernières locomotives du S. P., on a adopté une disposition qui paraît très satisfaisante. Dans ce nouveau type, *le brûleur est placé sur la face A'*, au-dessous de la plaque tubulaire, et dirigé vers l'AR (Voir *fig.* 28) : c'est donc un *foyer à retour de flamme*. Cette disposition

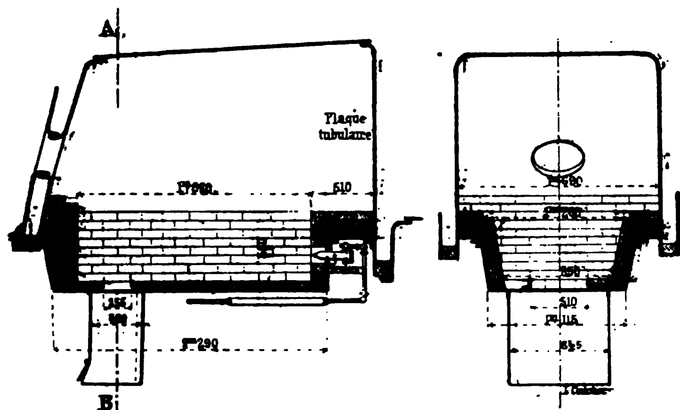


FIG. 28. — Foyer des locomotives au pétrole du S. P.

permet de *supprimer la voûte en briques* qui constitue la partie la plus coûteuse et la plus délicate du revêtement; ce nouveau type est donc *d'une construction et d'un entretien plus simples et plus économiques* que le précédent. Le retour de la flamme suffit à assurer un brassage énergique et une combustion complète. L'entrée d'air se fait d'abord autour du brûleur, puis par une porte placée sous la face AR du foyer, vers l'endroit où la flamme vient s'écraser contre le revêtement réfractaire pour retourner ensuite vers la plaque tubulaire.

Ainsi que nous l'avons dit, ces locomotives ne possèdent qu'*un seul brûleur à pétrole*. Ce brûleur fonctionne toujours comme un injecteur à vapeur : la vapeur sert à entraîner le pétrole et à le chauffer pour faciliter sa division et son inflammation.

Dans le *brûleur du Santa-Fé* (Voir *fig*. 29), la chambre à vapeur et la chambre à pétrole forment une seule pièce, la vapeur étant au-dessous de façon que le pétrole se chauffe en s'écoulant sur la cloison intermédiaire. Le pétrole s'échappe par un orifice rectangulaire de $12^{mm},7 \times 89$ millimètres; la fente par laquelle s'échappe la vapeur est munie d'une lèvre inférieure rapportée de façon à réduire l'épaisseur de l'orifice à 8/10 de millimètre.

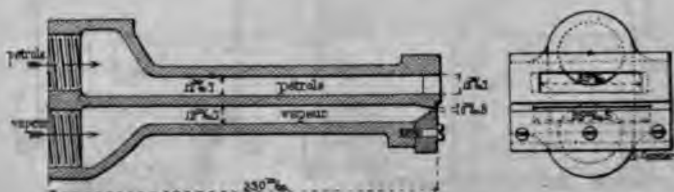


Fig. 29. — Brûleur à pétrole des locomotives du Santa-Fé.

Le *brûleur du S. P.*, ou brûleur *Sheedy-Carrick*, est au contraire en deux pièces (Voir *fig*. 30). La pièce intérieure, qui constitue la chambre à vapeur, se termine par une fente de $1^{mm},6$ d'épaisseur, faite au moyen d'un trait

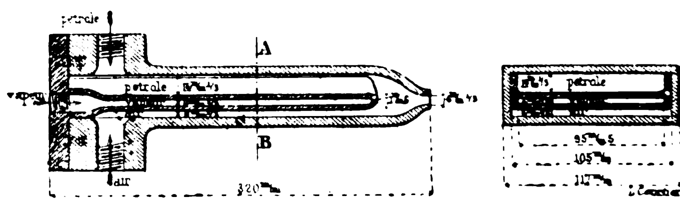


Fig. 30. — Brûleur à pétrole Sheedy-Carrick des locomotives du S. P.

de scie ; cette pièce forme à la partie supérieure une rigole où le pétrole se réchauffe avant d'arriver à l'orifice du brûleur. La pièce extérieure comporte également une chambre inférieure, où l'on peut envoyer de l'air comprimé provenant des réservoirs des freins afin d'activer

la combustion ; il est d'ailleurs rare qu'il soit nécessaire de faire usage de ce souffleur à air, sauf pour donner un coup de collier exceptionnel.

Les installations sur les *tenders* ont subi les mêmes transformations que pour les foyers : au début, on avait construit des tenders spéciaux où le pétrole était emmagasiné dans un récipient cylindrique. Au S. P., on a construit jusqu'en 1903 des tenders constitués par une caisse demi-

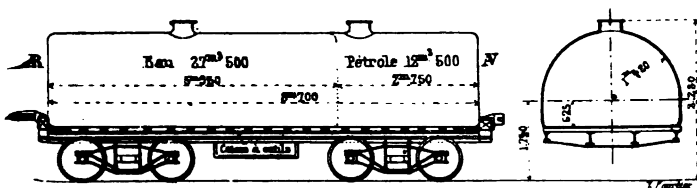


Fig. 31. — Tender à pétrole du S. P.

cylindrique (Voir *fig.* 31) divisée en deux compartiments, l'un pour l'eau et l'autre pour le pétrole. Actuellement on emploie pour les locomotives au pétrole les mêmes tenders que pour les machines au charbon : on place dans l'espace réservé au charbon un récipient de forme approprié destiné à contenir le pétrole. Au S. P., les nouvelles locomotives pétrole à possèdent, comme les locomotives au charbon, des tenders Vanderbilt (Voir plus haut) : un récipient amovible est placé dans la trémie à charbon, 11 m³,3 de pétrole occupant la place des 9 tonnes de charbon. La transformation d'un tender à pétrole en tender à charbon est donc extrêmement simple et rapide : il suffit de démonter la tuyauterie spéciale conduisant le pétrole du tender au brûleur, et d'enlever avec une grue le récipient à pétrole.

Cette *tuyauterie* est disposée de la façon suivante : entre le tender et le brûleur se trouve un *réchauffeur :* le tuyau amenant le pétrole passe à l'intérieur d'un cylindre

de diamètre double, dans lequel on peut envoyer de la vapeur venant de la chaudière. La vapeur qui sort de ce réchauffeur se rend, par un tuyau flexible en cuivre, dans le réservoir à pétrole placé sur le tender, et circule dans un serpentin noyé dans le pétrole; à la sortie de ce serpentin, la vapeur peut être échappée à l'atmosphère ou dans le récipient même de façon à réchauffer davantage le pétrole et à exercer une pression qui le chasse dans le brûleur. Ce serpentin ne sert pas d'une façon normale : on ne l'utilise qu'en hiver, lorsque le pétrole devient visqueux ou que la combustion se fait mal.

Généralement le pétrole se rend du tender au brûleur sous l'influence de son propre poids, à cause de la différence de niveau, le brûleur étant à la base du foyer, et le récipient à pétrole à la partie supérieure du tender. Quand cette disposition n'est pas adoptée, et que la différence de niveau est insuffisante, on envoie de la vapeur, ou mieux de l'air comprimé, dans le réservoir à pétrole.

Le Santa-Fé utilise presque exclusivement du *pétrole de la région côtière du Pacifique*, et notamment du pétrole de *Los Angeles*. Au contraire, le S. P. emploie surtout du pétrole provenant du *district de Kern River*, situé entre la Sierra Nevada et la chaine côtière. Le pétrole de Californie marque de 14° à 22° B.; il est *toujours employé brut*, et, d'après les expériences faites au Santa-Fé, son pouvoir de vaporisation sur les chaudières de locomotives reste sensiblement le même quand on passe du pétrole marquant 14° à celui qui marque 22° B. D'après ces mêmes expériences, 1 kilogramme de pétrole brut de Los Angeles vaporise 13 kilogrammes d'eau à la pression de 14 kilogrammes par centimètre carré, tandis que le charbon du New-Mexico, employé sur d'autres lignes du Santa-Fé, vaporise 6^{kg},5 d'eau seulement; l'avantage du pétrole existe donc dès que son prix (au poids) est inférieur au double du prix du charbon.

Le S. P. a fait en 1904 des expériences intéressantes sur la section *Rocklin-Truckee* de sa grande ligne d'Ogden à San Francisco ; cette section, longue de 155 kilomètres, correspond à la traversée de la Sierra Nevada, la partie la plus accidentée de la ligne. Les essais ont porté sur deux machines identiques du type Consolidation, chauffées, l'une au pétrole, et l'autre au charbon. Le pétrole employé provenait de Kern River (Cal.) et marquait 15°,8 B. (960 grammes au litre). Le charbon qui servait de terme de comparaison provenait de la mine de Castle Gate (Utah) (*) ; sa composition était :

Humidité	4,15 p. 100
Matières volatiles	39,20
Carbone fixe	49,45
Cendres	7,20

De la moyenne de ces expériences, il résulte que 1 tonne (907 kilogrammes) de charbon de Castle Gate équivaut à 4 barrels (636 litres) de pétrole de Kern River. Or le charbon de Castle Gate revient au S. P. à 4 dollars la tonne de 907 kilogrammes (22 fr. 90 la tonne de 1.000 kilogrammes), tandis que le pétrole de Kern River lui revient à 35 cents le barrel de 159 litres (1 fr. 10 l'hectolitre) : d'après ce que nous venons de dire, 7 fr. 30 de pétrole équivalent à 22 fr. 90 de charbon. On conçoit donc l'économie considérable que permet l'emploi du pétrole dans l'état actuel des choses (**).

Nous terminerons cette note en décrivant l'installation des *dépôts pour locomotives au pétrole*. Le pétrole est transporté dans des wagons-citernes : les anciens, de

(*) Cette mine est située sur la ligne du *Denver and Rio Grande R. R.* de Pueblo (Colo.) à Salt Lake City (Utah).

(**) A Los Angeles, d'après le «superintendent of motive power» du Southern Pacific, M. Sheedy, 3 1/2 barrels de pétrole de Los Angeles (à 35 cents le barrel) équivalent à 1 tonne de charbon de la Colombie britannique, qui revient au S. P. à 4 dollars et demi.

80.000 lbs (36t,3) de capacité de chargement, renfermaient 10.000 gallons (environ 38 mètres cubes) de pétrole ; les nouveaux, de 100.000 lbs (45t,4), en renferment 12.500 (environ 47 mètres cubes). Dans les petits dépôts, on se borne à faire monter ces wagons-citernes, par une rampe, sur une voie surélevée, de sorte que le pétrole descend du réservoir dans le tender à remplir par son propre poids. Dans les dépôts importants, les dangers que présentent les grands réservoirs de pétrole nécessitent leur installation loin des autres constructions : on a alors recours à des dispositions intéressantes. Nous décrirons par exemple celle que le S. P. a récemment adoptée au dépôt de *Los Angeles*, qui consomme environ 75.000 barrels (11.000 mètres cubes) de pétrole par mois.

Le pétrole est emmagasiné dans un grand réservoir de 55.000 barrels (8.750 mètres cubes) de capacité, placé à 1 kilomètre environ du dépôt et des ateliers par mesure de sécurité. Le pétrole descend des wagons-citernes par son propre poids dans un tuyau incliné à 3 p. 100 qui le conduit au sommet du réservoir. Du fond de celui-ci partent deux tuyaux communiquant avec deux réservoirs en tôle de 3.000 gallons chacun (11m³,5) ; ces deux réservoirs A et B (Voir *fig.* 32) sont enterrés, et le pétrole y descend par son propre poids ; ils servent à alimenter *automatiquement* les réservoirs où s'approvisionnent les tenders, près du dépôt, à 1 kilomètre de distance environ de cette installation. A cet effet, les réservoirs sont reliés à la canalisation d'air comprimé à 5kg,500 venant des ateliers : une valve de réduction V sert à détendre l'air à 2kg,500 seulement pour son utilisation dans l'installation que nous décrivons. En R se trouve une valve assez compliquée que l'on peut représenter schématiquement par un robinet à quatre voies permettant d'envoyer l'air comprimé dans l'un des tuyaux C et D, en mettant l'autre en communication avec le tuyau E d'échappement à l'atmosphère.

Cette valve est actionnée automatiquement par un flotteur placé dans l'un des deux réservoirs, A par exemple. Les valves *a*, *b*, *c*, *d* du schéma ci-contre sont constituées par des clapets s'ouvrant dans le sens de la circulation du

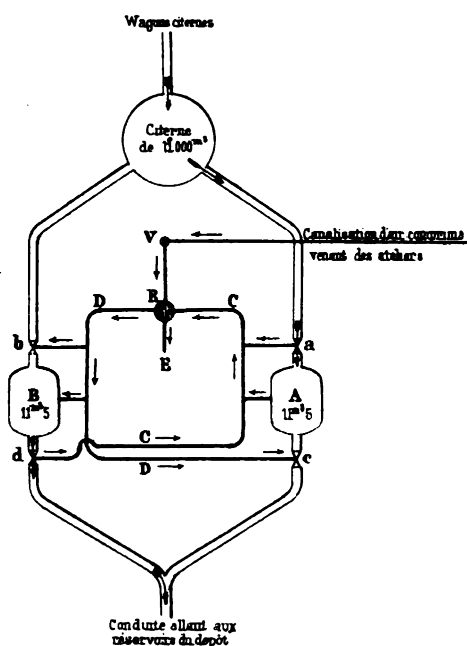


Fig. 32. — Schéma de l'installation du dépôt du S. P. à Los Angeles (Cal.).

pétrole; une pression provenant de la tendance du pétrole à refouler en sens inverse applique donc les clapets sur leurs sièges et s'oppose à ce retour. De plus, les valves peuvent être fermées par la descente de petits pistons (un pour chaque valve); la tige du piston est simplement appuyée sur le clapet, sans liaison aucune; le piston descend lorsqu'on admet l'air comprimé sur la face supérieure, sinon un ressort antagoniste fait remonter le piston, et la valve est libre de s'ouvrir.

Le fonctionnement est le suivant : supposons que le réservoir A soit en train de se remplir de pétrole venant de la citerne ; la valve R donne alors les communications indiquées sur le schéma ; C est à l'échappement : d'où possibilité pour *a* de s'ouvrir ; cette valve s'ouvre, en effet, sous la pression du pétrole de la citerne, car il n'y a pas de contre-pression sur le clapet, puisque A est à l'échappement par C : donc A se remplit. D'autre part, le tuyau D est sous pression, d'où fermeture de la valve *c*, d'ailleurs facilitée par la contre-pression provenant des réservoirs du dépôt. Du côté de B, la pression qui règne dans D ferme la valve *b*, isolant B de la citerne ; d'autre part, C étant à l'échappement, la valve *d* peut s'ouvrir, et *d* s'ouvre en effet, parce que la pression de l'air qui s'exerce dans B (par l'intermédiaire de D) est suffisante pour vaincre la contre-pression du pétrole des réservoirs du dépôt. Par suite, les 3.000 gallons de pétrole du réservoir B sont chassés par l'air comprimé dans les réservoirs du dépôt, tandis que 3.000 gallons de pétrole de la citerne pénètrent dans A. Quand A est plein, le flotteur, arrivé à fond de course, inverse la valve R, ce qui change la position de toutes les valves : c'est alors A qui se vide dans les réservoirs du dépôt, tandis que B se remplit.

Naturellement il faut que le débit des réservoirs A et B se règle sur la demande des réservoirs du dépôt, de façon que ceux-ci ne débordent pas. A cet effet, dans chacun des deux réservoirs du dépôt se trouve un flotteur commandant un servo-moteur à air comprimé qui ferme une valve obturant la conduite d'arrivée du pétrole ; ceci arrête immédiatement le débit de A et B. Le niveau supérieur du pétrole dans les réservoirs du dépôt est à 12 mètres au-dessus du sol, et cette pression permet de prendre dans les tenders 3.000 gallons de pétrole ($11^{m^3},5$) en trois à quatre minutes.

Cette installation fonctionne automatiquement sans au-

cun accroc depuis deux ans ; chaque ma
des ateliers vient graisser les valves et
c'est la seule main-d'œuvre que nécess
nieuse organisation.

VII.

VOITURES AUTOMOTRICES

La question des voitures automotrices e
du jour en Amérique, où la concurrence
électriques interurbains, dits « trolley li
Compagnies de chemins de fer à chercher
cace pour lutter contre ces nouveaux ven
sion prodigieuse suit d'année en année
gression toujours plus rapide.

De plus, on cherche également à emplo
trices sur les lignes secondaires très p
afin de réaliser une exploitation plus éc
moyen de trains légers remorqués par
de faible puissance : toutefois, il semble
trices n'ont pas encore réussi à remplir le
ce programme.

On a essayé, sur les lignes américai
tous les types d'automotrices déjà expérim
ger; malheureusement, les résultats obte
sont pas toujours très encourageants,
point des différents systèmes essayés lais
coup à désirer. Il faut espérer que les in
cains arriveront à concevoir un type orig
automotrices ; mais il convient de recon
l'instant, nous avons peu à leur empr
matière.

Nous ne dirons donc que quelques mo

trices construites en Amérique, en laissant de côté les voitures qui ont été importées d'Europe. On peut rattacher les automotrices américaines à trois types : les voitures à pétrole (« gasoline motor cars »), les voitures pétroléo-électriques, et les voitures à vapeur.

1° Les voitures à pétrole ont surtout été mises au point par M. W.-R. Mc. Keen, « superintendent of motive power » de l'*Union Pacific*, qui a fait successivement construire en 1905 et 1906, aux ateliers d'Omaha (Neb.), 7 automotrices actuellement en service sur différentes sections des *Harriman Lines*. A part la première de ces voitures qui est montée sur deux essieux, toutes les autres sont portées sur deux bogies dont l'un est moteur. On emploie des moteurs Wolseley de 100 chevaux à 6 cylindres verticaux, avec mise en marche par l'air comprimé ; pour le démarrage, on interpose un jeu d'engrenages entre l'arbre du moteur et les essieux ; en pleine marche, les engrenages sont supprimés et le moteur actionne directement les essieux au moyen de chaînes. Grâce à l'emploi judicieux de l'acier pour la construction du châssis et de la caisse de ces automotrices, on a pu réduire le poids à 26^t,5 pour une capacité de 75 places. De plus, les formes de la caisse ont été étudiées de façon à diminuer le plus possible la résistance de l'air. Plusieurs de ces voitures ont été soumises à de longs essais de résistance, et ont donné complète satisfaction. La seule modification que l'on apportera sans doute aux automotrices construites ultérieurement sera d'augmenter la puissance du moteur jusqu'à 200 chevaux afin de pouvoir remorquer une voiture ordinaire sans réduire par trop la vitesse.

2° Le système pétroléo-électrique a été appliqué par la General Electric C° sur une automotrice construite pour le *Delaware and Hudson*. Un moteur à pétrole Wolseley de 160 chevaux à 6 cylindres entraîne une génératrice

calculée pour la tension de 600 volts. Le réglage de la vitesse de la voiture se fait au moyen d'un controller ordinaire agissant sur le champ de la génératrice, et permettant également de coupler les deux moteurs de la voiture soit en série, soit en parallèle. La voiture, portée par deux bogies, a une longueur totale de 19m,800 et un poids de 59 tonnes en charge; elle comprend un grand compartiment à 40 places, un fumoir à 12 places, un compartiment pour les bagages, un autre pour le groupe électrogène, un lavabo, et une cabine de manœuvre à chaque extrémité. En service, la vitesse moyenne de pleine marche est de 56km,5 et peut s'élever jusqu'à 64km,5.

Dans un autre type de voiture pétroléo-électrique, le « Strang motor car », construit par la J. G. Brill Cº de Philadelphie, on a ajouté une batterie-tampon destinée à venir en aide au groupe électrogène lorsque la voiture franchit une rampe. On aurait relevé, sur cette automotrice, une consommation de 0lit,96 de pétrole du Texas par kilomètre de parcours.

3° L'automotrice à vapeur la plus intéressante est celle que le *Canadian Pacific Ry* a mise en service en 1906, parce qu'elle comporte l'emploi de vapeur surchauffée. Dans un but d'expérience, on a adopté comme combustible le pétrole, mais on a constaté que, dans la région considérée, l'emploi du charbon aurait été plus économique. Le brûleur à pétrole se trouve placé horizontalement dans un foyer à section circulaire d'où part un faisceau tubulaire qui, traversant une partie de la chaudière, aboutit à une chambre où se trouvent les tubes surchauffeurs; les gaz reviennent à la cheminée en traversant en sens inverse un deuxième faisceau tubulaire. Avec cette disposition, la vapeur surchauffée atteint une température de 370° à 400° C.: on a cependant constaté que les tiroirs cylindriques ordinaires fonctionnaient parfaitement à con-

dition de recevoir un graissage abondant. La chaudière et le mécanisme ont été calculés pour une puissance d'environ 200 chevaux. Les données sont les suivantes :

Timbre	12kg,7
Surface de chauffe directe...	4m²,80
Surface de chauffe des tubes.	46m²,60
Surface de surchauffe.......	5m²,85
Diamètre des cylindres......	254mm
Course des pistons..........	382mm
Diamètre des roues motrices.	1m,065
Poids total.................	61t,5

La caisse repose sur deux bogies; le truck A' supporte la chaudière ; le levier du régulateur est enclenché avec la valve d'admission du pétrole, de sorte que, lorsqu'on ferme l'arrivée de vapeur aux tiroirs, l'orifice de passage du pétrole est simultanément réduit, mais non pas obturé complètement, de façon à ne pas éteindre le brûleur. Depuis sa mise en service en juin 1906, cette automotrice accomplit par jour quatre parcours aller et retour sur une ligne de 37 kilomètres (dans la banlieue de Montréal) comportant de nombreux arrêts, tant fixes que facultatifs : l'horaire des trains de banlieue leur allouait cinquante minutes pour faire ce trajet : l'automotrice l'effectue facilement en trente-huit minutes. On a constaté que la voiture atteignait sans difficulté des vitesses de 80 à 88 kilomètres. D'après les premières expériences, les dépenses d'exploitation, comprenant le combustible, les salaires, l'entretien, etc., seraient de 0 fr.465 à 0 fr. 620 par kilomètre de parcours. La seule objection que l'on ait fait à ce type d'automotrice (en dehors de la question de combustible qui dépend des conditions locales) est la difficulté d'entretien, qui ne pourrait être résolue qu'en adoptant une disposition permettant de séparer facilement et rapidement le truck portant le moteur et la chaudière du reste de la caisse.

De nombreux réseaux ont mis à l'étude, ou même à

l'essai, en 1906, des automotrices de types analogues aux voitures que nous venons de décrire : mais toutes ces expériences sont encore trop récentes pour que l'on puisse se faire une opinion sur la valeur de chacun de ces systèmes. Il semble toutefois que le système pétroléo-électrique, s'il présente de grandes facilités de conduite, est beaucoup trop compliqué et trop coûteux de premier établissement pour que l'on puisse songer à en généraliser l'emploi sur des voitures où l'on doit rechercher avant tout l'*économie*.

ANNEXE.

RÉSULTATS OBTENUS EN SERVICE AVEC LA MACHINE MALLET DU BALTIMORE AND OHIO R. R.

A la réunion du 16 février 1906 du *New York Railroad Club*, M. Muhlfeld, « superintendent of motive power » du *Baltimore and Ohio R. R.*, a discuté les avantages respectifs des locomotives électriques et des locomotives à vapeur pour la remorque des trains très lourds. Il a donné à ce propos d'intéressants renseignements sur les résultats obtenus en service sur son réseau avec la machine Mallet, dont nous avons donné plus haut la description : ce sont ces indications que nous résumons ici.

La compound Mallet, après avoir figuré à l'Exposition de Saint-Louis en 1904, fut mise en service sur la division de Connelsville de la ligne de Pennsylvanie ; elle commença à figurer dans le service régulier à partir du 6 janvier 1905, et les résultats que nous donnons ci-dessous sont relatifs à une période d'un an ayant expiré le 5 janvier 1906.

Le poids en charge de la locomotive Mallet avec son tender représente 152 + 65 = 217 tonnes, soit environ

88 tonnes de moins que deux machines 2-8-0 avec leurs tenders, auxquelles elle était destinée à se substituer. Tandis que l'effort théorique de traction de deux machines 2-8-0 est de 36.000 kilogrammes, celui de la machine Mallet est de 33.600 kilogrammes en compound, et de 38.200 kilogrammes avec le dispositif de démarrage. Deux machines 2-8-0 peuvent prendre sur rampe de 10 millimètres une charge de 1.840 tonnes contenue dans des wagons métalliques de 100.000 lbs (45 tonnes) de capacité; avec la machine Mallet et une locomotive 2-8-0, on peut remorquer, dans des wagons analogues, 2.915 tonnes. Ces données sont relatives à des parcours effectués à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, avec la machine Mallet fonctionnant en compound.

La locomotive Mallet a été affectée à deux genres de services distincts : celui des trains de marchandises directs (through freight trains) entre Connelsville et Rockwood, et celui du renfort en queue (pusher) pour les mêmes trains entre Rockwood et Sand Patch.

1° De Connelsville à Rockwood, la ligne s'élève de 284 mètres pour une distance totale de 70 kilomètres, avec déclivité maxima de 10 millimètres. Sur cette section, la machine Mallet remorquait seule les « through freight trains », dont la traction est d'ordinaire assurée par deux locomotives 2-8-0. On a pu, dans ces conditions, remorquer des trains de 36 wagons métalliques pesant 638 tonnes à vide, et renfermant un chargement de 1.512 tonnes, soit un poids total de 2.150 tonnes derrière le tender. En ajoutant le poids de la machine en charge et du tender avec les approvisionnements à moitié épuisés, soit 205 tonnes, cela représente un poids total de 2.355 tonnes, sur lequel 64,3 p. 100 sont du poids utile. Le parcours était fait à une vitesse variant de 16 à 17 kilomètres à l'heure. Avec ce train de 2.150 tonnes, même dans les endroits les plus difficiles (courbes de

205 mètres de rayon et rampe de 10 millimètres), on maintenait la même vitesse qu'avec un train de 1.100 tonnes remorqué par une machine 2-8-0. Pour remorquer le même train de 2.150 tonnes, il aurait fallu employer deux machines Consolidation pesant avec leurs tenders (approvisionnements à moitié épuisés) 268 tonnes, ce qui aurait représenté un train de 2.418 tonnes, dont 62,4 p. 100 auraient été du poids utile.

2° Dans le service de renfort entre Rockwood et Sand Patch, la machine Mallet pousse des trains de 2.000 à 2.400 tonnes remorqués par une machine 2-8-0 en tête. Cette section de ligne, longue de 26^{km},6, comporte une longue rampe de 10 millimètres par mètre sur 10^{km},5, le reste étant composé de rampes de 5 millimètres et 10 millimètres. Ce trajet est effectué à une vitesse de 13 à 16 kilomètres à l'heure. La machine est servie par deux équipes travaillant chacune douze heures : chaque équipe fait au maximum trois parcours aller et retour en redescendant à vide.

Lors d'une expérience faite pour se rendre compte de la puissance de la machine Mallet, cette locomotive seule a poussé sur rampe de 10 millimètres, dans des courbes de 430 à 580 mètres de rayon, un train de 36 wagons chargés représentant un poids total d'environ 1.965 tonnes à la vitesse moyenne de 7^{km}1/4 à l'heure. Elle a même poussé dans ces conditions un train complet de 40 wagons, y compris la locomotive de tête (type 2-8-0) dont on avait fermé le régulateur, soit un poids total d'environ 2.315 tonnes, à la vitesse de 3 kilomètres à l'heure : cette expérience a été prolongée sur un parcours de 800 mètres sans que l'on ait cessé de maintenir la pression normale dans la chaudière, ainsi que le niveau d'eau réglementaire : on aurait pu sans difficulté prolonger davantage cet essai.

Pour la période du 6 janvier 1905 au 5 janvier 1906

durant laquelle cette machine a été affectée aux deux services dont nous avons parlé, les résultats obtenus ont été les suivants :

Distance parcourue (évaluée à forfait à 9km,65 par heure en service de renfort, et comptée pour sa valeur réelle en service de « through freight »)..	72.300km
Kgr. de charbon par km. parcouru..............	60,8 (*)
Litres d'eau par km. parcouru..................	357
Kgr. d'eau vaporisés par kgr. de charbon.........	5,870
Huile de graissage du mécanisme pour 100 km ...	0lit,203
Huile de graissage des cylindres et tiroirs pour 100 km..................................	0lit,147
Graisse pour les tourillons pour 100 km..........	96gr
Sable pour 100 km	116kg
Prix de la main-d'œuvre et des matériaux pour réparations pour 100 km.......................	10fr,20
Prix total des dépenses d'exploitation et d'entretien pendant l'année (combustible, eau, main-d'œuvre et matériaux pour réparations, salaires des équipes, nettoyage, lavage de la chaudière, inspection, graissage, divers), pour 100 km........	79fr

Pendant les 6 derniers mois de la période considérée, soit du 7 août 1905 au 6 janvier 1906, la machine n'a été hors de service que onze jours pour lavage de la chaudière, essai des entretoises au marteau, réparations, etc., soit seulement pendant 6 p. 100 du temps total.

Cependant, à Rockwood, où la locomotive séjourne lorsqu'elle est en service de renfort, il n'y a qu'une simple fosse à piquer et une prise d'eau permettant d'effectuer la vidange et le remplissage de la chaudière. La locomotive restait en service, à partir de ce point, pendant une période de deux semaines ou même davantage, et redescendait alors au dépôt de Connelsville pour lavage, essai des entretoises et réparations courantes.

(*) Il ne faut pas oublier que ce chiffre représente une moyenne : la consommation réelle est souvent plus du double en service de renfort.

A l'inspection du 6 janvier 1906, après douze mois de service, l'état de la machine était le suivant :

1° Les bandages étaient usés de $4^{mm}3/4$, soit $0^{mm},4$ par mois ;

2° Les pistons et cylindres étaient en bon état ;

3° Les tiroirs cylindriques HP avaient eu leurs segments renouvelés une fois dans l'année, les tiroirs plans BP n'avaient jamais reçu de réparations : les chambres à tiroir étaient en bon état ;

4° Châssis en bon état ;

5° Fusées en bon état, bien qu'on ait eu dans le cours de l'année deux chauffages par suite d'absence de graissage ;

6° Boîtes en bon état ; les coussinets en bronze étant encore capables de faire une autre année de service ;

7° Distribution en bon état : le jeu total entre la contre-manivelle et le tiroir était au maximum de $1^{mm},2$ pour les mécanismes HP, et un peu moindre pour les mécanismes BP, dans les deux positions du levier de changement de marche à fond de course AV et AR ;

8° La chaudière ne manifestait aucune fuite ni aux rivets, ni aux joints, ni aux entretoises, malgré le timbre élevé de $16^{kg},5$. On n'a pas constaté de ruptures d'entretoises (elles sont de $25^{mm},4$ de diamètre, espacées de 99 millimètres) ;

9° Le foyer était en bon état, sans fissures ni fuites, sauf à deux rivets du cadre de porte que l'on a dû remplacer.

Toutes les dispositions de la machine ont donné complète satisfaction. En particulier, les joints des tuyaux de vapeur articulés sont restés parfaitement étanches. La grande souplesse de la machine est indiquée par ce fait qu'elle circule facilement sur des raccordements de 76 mètres de rayon en gare de Rockwood.

(La suite à une autre livraison.)

Paris, le 1er septembre 1906.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ALLEMAGNE ET DU LUXEMBOURG EN 1905 (*).

	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen
1° *Substances minérales.*	tonnes	francs	fr. c.
Combustibles minéraux. Houille..	121.298.167	1.291.009.470	10,65
Combustibles minéraux. Lignite..	52.498.507	148.548.410	2,83
Minerai asphaltique	103.006	1.207.700	11,72
Pétrole	78.869	6.404.610	81,20
Graphite	4.921	257.070	52,24
Minerai de fer	16.848.213	84.327.570	5,00
— de zinc	731.281	58.841.970	80,46
— de cuivre	793.488	28.905.000	36,43
— de plomb	152.725	18.875.580	123,59
— d'étain	123	77.490	630,00
— de cobalt, nickel et bismuth	10.848	1.095.980	101,02
— d'urane et wolfram	26	52.890	2.034,23
— de manganèse	54.463	735.540	14,29
— d'arsenic	4.887	457.560	93,63
— d'or et d'argent	9.628	1.478.460	153,56
Pyrites de fer	185.384	1.799.490	9,70
Sel	1.777.535	24.945.630	14,03
Minerai de fer (Luxembourg)	6.595.860	16.250.760	2,46
2° *Métaux.*			
Fonte	9.506.809	630.809.190	66,35
Fer et acier soudés	830.588	137.806.740	165,91
Fer et acier fondus	9.479.402	1.344.838.950	141,87
Zinc	198.208	120.441.600	607,65
Cuivre	31.717	54.871.530	1.730,00
Plomb	152.590	50.490.270	330,89
Litharge	3.786	1.324.710	349,90
Étain	5.233	17.154.810	3.278,20
Mercure et antimoine	2.798	1.829.010	653,68
Nickel, cobalt, bismuth et uranium	3.317	16.121.610	4.860,00
Arsenic	2.535	1.191.870	470,54
Soufre	205	24.600	120,00
Cadmium	24,6	182.040	7.400,00
	kilogr.		
Or	3.933	13.498.020	3.431,99
Argent	399.775	40.494.060	101,29
	tonnes		
Fonte (Luxembourg)	1.368.252	81.021.330	59,21

(*) Renseignements provisoires.

Extrait de la Statistique de l'Empire d'Allemagne. — Année 1905.

NOTE

SUR

L'ÉCOLE DES MINES DE MADRID

ET L'ÉCOLE D'INGÉNIEURS INDUSTRIELS DE BILBAO

Par MM. NICOU et SCHLUMBERGER, Ingénieurs au Corps des Mines.

Dans un travail inséré ici même il y a un peu plus d'un an (*), MM. Friedel, Liénard et Etienne ont exposé en détail l'organisation des Écoles d'Ingénieurs pour les mines et la métallurgie existant en Belgique, en Allemagne et en Autriche-Hongrie. Il a paru qu'il y aurait intérêt à faire connaître également l'organisation de deux Écoles que nous avons visitées en 1904, au cours d'un voyage d'études en Espagne, l'École des Mines de Madrid et l'École d'Ingénieurs industriels de Bilbao.

Indépendamment des nombreux Espagnols qui vont prendre leurs diplômes d'Ingénieur dans des Écoles étrangères, particulièrement en Belgique et en Allemagne, ou des Ingénieurs étrangers proprement dits, français, belges, anglais ou allemands, qu'emploient principalement les sociétés à capitaux étrangers ayant des mines ou des usines en Espagne, l'industrie minière et métallurgique espagnole peut aussi recruter des Ingénieurs nationaux ayant poursuivi toutes leurs études en Espagne. Les Écoles des Mines de Madrid ou d'Ingénieurs industriels de Bilbao, de Barcelone et de Madrid per-

(*) *Annales des Mines*, juillet 1905.

mettent en effet chaque année à de nombreux jeunes gens de se préparer aux carrières de l'industrie.

L'École des Mines de Madrid est, à vrai dire, la seule École d'Espagne qui donne à la fois un enseignement complet pour les Mines et la Métallurgie; c'est elle qui a le plus de points communs avec nos Écoles françaises des Mines. Les Écoles d'Ingénieurs industriels ressemblent plus à l'École centrale des Arts et Manufactures; mais, comme pour cette dernière, certains de ses élèves se dirigent plus tard vers les exploitations minières.

Nous avons réuni dans la note qui va suivre les indications que nous avons recueillies non seulement sur l'École des Mines de Madrid, mais encore sur celle des Ingénieurs industriels de Bilbao qui, récemment ouverte, est, tant par les programmes que par l'esprit, conçue dans le sens le plus moderne. Nous passerons successivement en revue ces deux établissements.

I.

ÉCOLE DES MINES DE MADRID.

Il y a encore peu d'années, c'était à Almaden, où se trouve actuellement une École de capataz ou maitres-mineurs, qu'était installée l'École des Mines espagnole. Transférée depuis à Madrid, elle occupe depuis deux ans un édifice somptueux, éloigné du centre de la ville, sur la large calle de Rios Rosas, édifice dans la construction duquel on a peut-être eu plus en vue les qualités architecturales que la commodité des dispositions.

L'École des Mines de Madrid a pour but de donner l'instruction technique supérieure à un certain nombre de jeunes gens qui entreront dans le Corps des Mines espagnol, ou se destineront aux carrières industrielles.

le plus souvent après un stage plus ou moins long au service de l'État. Elle est régie par le décret royal du 23 février 1901, qui a voulu y réaliser un enseignement aussi pratique que possible ; sans arriver à la solution discutable de certains grands établissements techniques américains où les classes orales sont limitées au strict minimum et où l'on fait construire aux élèves de véritables machines, on a beaucoup condensé les cours théoriques, et développé autant que possible les exercices d'application.

I. **Conditions d'entrée.** — Tout candidat à l'École de Madrid doit être Espagnol, avoir au moins seize ans et réaliser les conditions d'aptitude physique au métier de mineur, c'est-à-dire ne présenter aucune infirmité qui rende difficile l'accomplissement de ses devoirs d'ingénieur; un certificat médical doit le constater. Il lui faut également prouver qu'il possède les connaissances requises pour l'examen d'études secondaires qui est l'équivalent de notre baccalauréat, soit en présentant le diplôme correspondant, soit en subissant devant un jury spécial des interrogations sur l'histoire générale, l'histoire d'Espagne, la géographie et la langue espagnole.

Après la réalisation de ces diverses formalités vient l'examen proprement dit d'admission, portant sur l'arithmétique, l'algèbre, la trigonométrie et la géométrie analytique à deux et à trois dimensions, sur des matières à très peu près semblables à celles demandées à l'entrée des Écoles de Paris ou de Saint-Étienne. Il n'est exigé aucune connaissance de physique, chimie ou géométrie descriptive, dont l'étude fait partie des cours professés à l'École; par contre, il faut avoir des notions de dessin linéaire, et, nous en verrons plus loin le motif, une connaissance approfondie de la langue française.

La façon dont se passent les examens est tout à fait

particulière; sur chaque matière, il y a un écrit et un oral, et les épreuves se subissent dans un ordre déterminé, étant entendu qu'un échec dans l'une empêche de passer à l'examen suivant. C'est ainsi qu'après un premier examen d'arithmétique et algèbre élémentaires, en viendra un de géométrie, puis celui d'algèbre supérieure et de trigonométrie, enfin celui de géométrie analytique. Il faut être reçu dans toutes ces matières et également subir avec succès les épreuves de dessin linéaire et de langue française pour pouvoir entrer à l'École. Mais l'on ne met aucune restriction au temps nécessaire pour obtenir les différents certificats d'approbation. Les jurys d'examen ont chaque année deux sessions, en juin et en septembre, dans lesquelles se présentent les candidats à leur volonté.

Une telle manière de procéder, qui supprime tout classement à l'entrée, tient à ce que jusqu'ici on n'a pas encore eu besoin de limiter le nombre des élèves à l'École ; les locaux sont suffisants pour permettre à tous ceux qui sont reçus chaque année (et ils dépassent rarement une quinzaine) de suivre commodément les cours et exercices. Il n'en est pas moins vrai que certains avantages sont accordés aux candidats qui passent ces divers examens avant vingt et un ans révolus et en moins de trois ans, sans avoir subi dans deux épreuves consécutives un échec sur une même partie du programme; ils peuvent seuls entrer comme élèves officiels ou internes (*alumno oficial*), les autres seront des élèves externes ou libres.

II. **Organisation générale des études. — Examens. — Diplômes.** — Les connaissances exigées à l'entrée étant, en somme, peu nombreuses, on comprend que, malgré le désir de réduire les cours théoriques, le temps total de séjour des élèves à l'École soit plus considérable qu'en

France. Le cycle des études comprend six années; les deux premières correspondent à des cours d'instruction générale théorique, les autres aux cours d'application.

Nous avons déjà vu qu'il y avait deux catégories d'élèves, internes et externes ; occupons-nous des premiers : ils sont assujettis à des heures de présence déterminées, doivent assister à tous les cours, exercices, etc., du programme et subir à la fin de chaque année des examens sur les matières enseignées. Ces examens se passent au mois de juin, et une session en septembre permet aux ajournés de la première de tenter à nouveau la chance. La sixième année se termine en plus par un grand projet, après lequel les élèves reçoivent le diplôme d'*Ingeniero de Minas*.

La longueur des études, la non-obligation du service militaire personnel, que l'on soit diplômé ou non, font que beaucoup d'élèves abandonnent avant l'expiration des six ans, et il est rare de voir arriver plus de huit élèves officiels aux examens finaux. Bien que l'on ne promette pas absolument une place dans les services de l'État aux élèves officiels diplômés, néanmoins la plupart de ceux-ci peuvent entrer dans le Corps des Mines. Les postes d'Ingénieurs de l'État sont en effet beaucoup plus nombreux qu'en France et le passage dans l'industrie privée très facile, aussi considère-t-on souvent ces postes comme des situations d'attente. Au bout de deux ans, on peut demander un congé qui ne fait perdre aucun droit à l'avancement, sous la seule réserve que, lors de la promotion au grade d'Ingénieur en chef, on fasse un nouveau stage de deux ans dans les services publics ; ce stage est d'ailleurs singulièrement facilité par le fait que deux années de professorat à Almaden, Mièrès, etc., où il y a des Écoles de maîtres-mineurs, suffisent, et les obligations des professeurs dans ces écoles sont très réduites.

L'élève ayant perdu son titre d'élève officiel par mesure

disciplinaire ou y ayant renoncé peut continuer ses études dans la catégorie des élèves libres, pour lesquels l'école est une vraie Faculté et qui doivent simplement, en fin de compte, avoir satisfait à tous les examens pour prétendre au diplôme d'*Ingeniero de Minas;* mais le diplôme obtenu dans ces conditions ne confère aucun droit à entrer au service de l'État.

Les examens de passage d'une année à l'autre sont subis pour chaque matière devant un jury composé de trois professeurs, dont celui du cours considéré. Les élèves internes sont classés suivant les notes qu'ils ont obtenues ; tout exercice fait dans le courant de l'année, toute interrogation, donne lieu à une note intervenant dans le calcul définitif des points de fin d'année.

Pour l'échelle des notes, on distingue les cours dits scientifiques, les projets et les journaux de voyage, des exercices pratiques, travaux graphiques et cours de langues vivantes. Pour les premiers, on cote de 0 à 20; pour les autres, de 0 à 12. Toute note inférieure à 10 dans le premier cas, à 6 dans le second, force l'élève à se représenter pour l'examen à la session suivante, pour l'exercice à redoubler l'année. Il est pourtant une dérogation à cette règle : si l'élève, lors de la reprise des cours, n'a échoué que dans une seule des matières cotées de 0 à 20 ou dans deux de celles cotées de 0 à 12 ou enfin dans deux matières de groupes différents, il peut être admis à suivre les cours de l'année suivante ; mais, avant de passer les examens de cette nouvelle année, il doit satisfaire à ceux en retard.

Un total des points est fait à la fin de chaque année d'études en sommant les points obtenus depuis l'entrée à l'École ; suivant le total, l'élève reçoit une des trois qualifications suivantes : *sobresaliente* (supérieur), *muy bueno* (très bien), *bueno* (bien).

Il existe à Madrid une institution particulière, c'est la

caja de praticas ou caisse de pratique, qui a pour but de subvenir aux frais des voyages d'instruction, aux dégâts commis par les élèves à l'intérieur de l'École, à certaines dépenses de l'enseignement (produits de laboratoires, etc.) concurremment avec les subventions de l'État. Cette caisse est alimentée par un versement obligatoire de 200 pesetas par élève et par an et par des dons ou legs de particuliers, de sociétés ou d'entreprises industrielles. Elle est administrée par une commission composée du directeur et du sous-directeur de l'École, de trois professeurs et de trois élèves officiels élus par leurs camarades. Cette commission administrative est contrôlée annuellement par le conseil de l'École.

Élèves libres. — Les élèves libres ou externes sont admis à suivre les cours qu'ils désirent sur demande adressée au directeur; ils ne sont assujettis à aucune présence obligatoire, il est d'ailleurs prévu qu'en cas d'insuffisance des locaux l'entrée des salles peut leur être interdite. Ils ont la faculté d'assister aux exercices pratiques, mais doivent alors faire partie de la *caja de praticas* comme les élèves internes. Ils passent des examens sur les matières du programme dans les conditions précédentes et, s'ils n'ont pas suivi certains exercices pratiques, le Conseil de l'École, sur leur demande, fixe la manière dont on s'assurera qu'ils en ont une suffisante habitude. S'ils ont satisfait à toutes les épreuves du programme, ils recevront un diplôme d'ingénieur des mines.

Mais les élèves libres peuvent aussi se contenter de passer des examens sur certaines matières qu'ils estiment devoir leur être plus particulièrement utiles, et les seules conditions imposées dans ce cas sont que le passage d'un examen déterminé soit précédé d'une série d'autres, variables suivant l'examen, et que nous indiquons plus loin. Ils reçoivent alors un certificat constatant qu'ils ont subi avec succès l'épreuve ou les épreuves considérées.

III. **Études.** — Les cours à Madrid commencent, chaque année, le 4 octobre pour se terminer le 20 mai ; vacances déduites, on a de vingt-neuf à trente semaines de présence des élèves, chiffre supérieur à ceux que nous avons en France. Les leçons durent en moyenne une heure et demie et sont consacrées par le professeur tant au cours proprement dit qu'à des interrogations des élèves.

Les programmes indiquent pour chaque science un certain nombre d'ouvrages que le professeur se borne le plus souvent à expliquer et qui exigent pour les élèves la connaissance de langues étrangères, français, allemand, anglais, surtout la première. Les livres scientifiques espagnols sont en effet assez rares et ne sont d'ailleurs ordinairement que des adaptations d'ouvrages étrangers : c'est pour cela que nous avons vu un examen de français exigé des élèves à l'entrée, que dans les années de présence à l'École une place importante est donnée à l'enseignement de l'allemand et de l'anglais et que le règlement prévoit l'obligation pour le corps enseignant de publier des ouvrages sur des sujets déterminés, si le Conseil de l'École le juge à propos.

Le tableau suivant donne par année les cours professés, le nombre des leçons par semaine affectées à chaque matière, et les noms des auteurs d'ouvrages étrangers connus en France recommandés aux élèves.

Première année.

Cours	Nombre de leçons par semaine		Ouvrages indiqués
Calcul infinitésimal....	5	(pendant 1/2 période)	Sonnet.
Mécanique rationnelle et statique graphique.	5	—	Wood, Lévy.
Géométrie descriptive et stéréotomie.........	4		Le Roy.
Anglais...............	2		
Total des cours par semaine...	11		

Deuxième année.

Cours	Nombre de leçons par semaine	Ouvrages indiqués
Physique, thermodynamique, technique microscopique........	4	Fouqué et Michel Lévy, Ganot.
Topographie et géodésie	3	Lehagre.
Droit administratif, économie politique.....	2	
Anglais...............	2	
Total des cours par semaine...	11	

Troisième année.

Chimie générale, industrielle, photographie.	3	
Mécanique appliquée, machines............	4	Haton de La Goupillière, Callon, Sauvage.
Allemand.............	3	
Total des cours par semaine...	10	

Quatrième année.

Chimie analytique.....	3	Klassen, Frésénius.
Zoologie, botanique, paléontologie.........	3	Zittel, Zeiller.
Minéralogie, pétrographie................	3	Von Lasaulx, de Lapparent.
Allemand.............	2	
Total des cours par semaine...	11	

Cinquième année.

Construction et transports...............	4	Durand-Claye.
Préparation mécanique des minerais, métallurgie générale, sidérurgie..............	3	Boutan, Le Verrier, Gruner, Ledebur, Knapp.
Géologie générale.....	3 (pendant 1/2 période)	De Lapparent.
Sources, procédés de captage.............	3 —	Chalon.
Total des cours par semaine...	10	

Sixième année.

Cours	Nombre de leçons par semaine
Exploitation des mines et plans souterrains.	3
Métallurgies diverses..	3
Électricité...........	3
Comptabilité.........	2
Total des cours par semaine...	11

Les travaux pratiques sont très développés ; en première année, ce sont des applications directes de leçons orales, problèmes d'analyse ou de mécanique, épures, lavis, etc. En deuxième année, des manipulations complètent les cours de physique et de microscopie, des levés de plans et le tracé d'une méridienne celui de topographie. La troisième comprend des croquis de machines, soit à l'École, soit dans les usines, des visites industrielles dans la capitale, en particulier celle du laboratoire d'essais des ingénieurs militaires, du travail d'atelier (montage et maniement des machines), enfin un projet de machines. En quatrième année, à des exercices de chimie, à des travaux pratiques de sciences naturelles, à des visites de laboratoires de chimie on ajoute quelque peu de dessin graphique, que l'on n'avait d'ailleurs pas abandonné en troisième année.

En cinquième et sixième années, les visites industrielles deviennent plus fréquentes ; en cinquième, le cours de construction et de transports est la raison de visites à divers chantiers, aux gares de Madrid ; des essais de matériaux sont faits à l'École, les manipulations chimiques sont poursuivies. A la fin de l'année, les élèves doivent faire un voyage d'instruction sur lequel ils remettent un journal, voyage dans lequel ils voient des ateliers de préparation mécanique, des usines sidérurgiques, des fabriques de produits chimiques et étudient des entreprises de transports.

En sixième année, les travaux pratiques sont très nombreux ; des exercices ou des projets sont faits sur l'exploitation des mines, l'électricité, la comptabilité ; les travaux de laboratoire se continuent avec addition de l'étude des machines électriques ; le musée de l'École possède des modèles bien conditionnés d'appareils métallurgiques ; les travaux de topographie des années précédentes sont complétés par des exercices de report de plans à la surface et de démarcation ; les usines et les tramways électriques de Madrid sont également l'objet de visites. Un voyage d'instruction termine l'année, voyage où l'on a surtout en vue l'étude d'un district minier et métallurgique, du captage des eaux, des transports de force, et le levé des plans souterrains.

Enfin, le séjour à l'École se termine par le projet final, dit de fin de carrière.

Les visites d'usines, les voyages d'instruction, se font sous la conduite des professeurs de l'École : cela n'a pas d'inconvénient ici, le très faible nombre des élèves de chaque promotion permettant même dans ces conditions une visite des installations approfondie et profitable à tous. On devra envisager plus tard, si le nombre des élèves vient à augmenter, comme on l'espère, une modification à ce régime.

Laboratoires, musées, etc. — Les installations de l'École au point de vue des exercices pratiques comprennent actuellement des laboratoires de mécanique et d'électricité assez bien installés, avec machine à vapeur, chaudière, moteur à gaz, machines-outils, appareils d'essais, dynamos, etc., que les élèves sont successivement amenés à conduire. Bien que ces laboratoires soient beaucoup plus perfectionnés que ceux de certaines de nos écoles, on songe pourtant déjà à les développer pour familiariser encore plus les élèves avec le maniement des différents types de moteurs usuels. Un crédit de

300.000 pesetas serait demandé dans ce but au Gouvernement.

Les collections de minéralogie, paléontologie, etc., ne comprennent que des échantillons courants; le musée de la carte géologique d'Espagne, qui est remarquablement bien fourni, permet aux étudiants de trouver les compléments utiles; les appareils de géodésie et de topographie sont des types les plus parfaits et en nombre largement suffisant pour les besoins. Enfin, le musée d'exploitation des mines et de métallurgie, grâce aux dons des industriels, comprend des modèles très bien faits de tous les appareils employés ou susceptibles d'être employés en Espagne (fours à cuivre, à plomb, à mercure; fours Martin oscillants, hauts fourneaux, wagons à déchargement automatique, etc.).

Les laboratoires de chimie n'existent pas encore à l'École de Madrid; provisoirement, les élèves travaillent dans des salles peu confortables situées dans un bâtiment annexe où est installé le laboratoire industriel. Trois ingénieurs du Corps des Mines espagnol au moins sont affectés à ce dernier laboratoire; ils s'y livrent à des recherches personnelles ou à des essais et analyses de minerais payés par les intéressés suivant un tarif peu élevé. Le laboratoire industriel constitue une fondation pour laquelle aucun subside de l'État n'a été ou ne sera nécessaire; des cabinets de travail fort bien disposés y ont été établis; les appareils les plus perfectionnés sont à la disposition des ingénieurs, qui peuvent ainsi travailler dans de bonnes conditions; la place est seulement un peu mesurée actuellement par suite de la présence des élèves de l'École des Mines.

Projet de fin de carrière. — Une fois passés tous les examens de la sixième année, il est donné à chaque élève un texte de projet qu'il aura à étudier depuis le milieu de juin jusqu'au 15 octobre, date à laquelle il doit être nécessairement remis. Ce projet sera discuté devant un

jury spécial, qui tiendra compte dans la note donnée non seulement de son caractère pratique, mais dans une large mesure aussi de la correction et de la concision du texte. Il semble d'ailleurs qu'à Madrid comme dans beaucoup d'autres écoles, on ait tendance à donner aux élèves des sujets trop étendus à traiter; de plus il est difficile de s'assurer que le travail remis par l'élève est bien son œuvre personnelle, et c'est pour cela que l'on projette de modifier les conditions actuelles et de prendre une solution très rapprochée de celle adoptée à Bilbao et que nous verrons à propos de cette école.

IV. **Personnel enseignant.** — Le nombre des professeurs est de 17, entre lesquels les cours sont répartis de la manière suivante :

Analyse et Mécanique rationnelle ;
Physique et Thermodynamique ;
Topographie et géodésie ;
Droit administratif, économie politique, comptabilité ;
Chimie générale et industrielle ;
Mécanique appliquée et machines ;
Chimie analytique ;
Zoologie, Botanique, Paléontologie, Sources et captage des eaux ;
Minéralogie et Pétrographie ;
Construction et transports ;
Métallurgie et préparation mécanique des minerais ;
Électrotechnique ;
Travaux graphiques ;
Géométrie descriptive ;
Exploitation des mines et topographie souterraine ;
Allemand ;
Anglais.

Les professeurs sont ordinairement membres du Corps des Mines et, pour être attachés à l'École, ils doivent dans ce cas en être sortis avec une des qualifications de *sobresaliente* ou *muy bueno*, avoir été au service actif pen-

dant une durée minima de cinq ans et avoir été trois ans un des cinq professeurs auxiliaires qui remplacent, quand il y a besoin, les professeurs titulaires.

Indépendamment des cours, des exercices pratiques et des voyages d'instruction qu'ils ont à diriger, un ou deux professeurs sont en outre, chaque année, chargés par le Gouvernement, sur la proposition du Conseil de l'École, de faire des voyages d'études en Espagne et à l'étranger pendant les mois de vacances : le but de ces voyages est en général la visite d'Écoles étrangères et la recherche des modifications utiles à apporter à l'enseignement à Madrid. Les frais de ces voyages sont à la charge de l'État ; il en est de même des dépenses pour l'impression des mémoires écrits à ce sujet.

Une charge particulière imposée au personnel enseignant est la suivante : quand il n'existe sur la matière professée aucun livre espagnol, le professeur peut être obligé de l'écrire ; il lui est accordé pour cela un laps de temps de dix années ; tous les trente mois, un quart de cet ouvrage doit être envoyé à l'impression, qui est faite par les soins de l'École. On espère ainsi obtenir assez rapidement des traités espagnols sur toutes les sciences fondamentales. Il faut d'ailleurs ajouter que, comme cela se pratique dans de nombreuses écoles, certains cours sont autographiés et mis à la disposition des élèves.

Le directeur de l'École est un ingénieur en chef de première classe des Mines ; il peut être suppléé par le plus ancien des professeurs appartenant également au Corps des Mines. Un conseil composé de tous les professeurs s'occupe de l'Administration générale de l'École. Chaque professeur est conservateur de la collection correspondant à son cours.

V. **Frais d'études.** — L'enseignement à Madrid est absolument gratuit en ce qui concerne les cours proprement

dits; les élèves internes versent une somme de 200 pesetas pour les exercices pratiques et les frais de voyage, comme nous l'avons vu déjà.

VI. **Enseignement libre.** — Nous avons indiqué comment les élèves libres pouvaient suivre les cours de l'École et passer les examens correspondants. Nous donnerons simplement ci-dessous la liste des examens auxquels on ne peut se présenter qu'en justifiant de certaines connaissances.

Pour pouvoir subir l'examen de :	Il faut avoir été admis en :
Calcul infinitésimal	Examens d'entrée.
Mécanique rationnelle	Calcul infinitésimal.
Géométrie descriptive	Examens d'entrée.
Physique	— et mécanique rationnelle.
Topographie	Examens d'entrée.
Droit administratif	—
Chimie générale	Physique.
Mécanique appliquée et machines	—
Chimie analytique	Chimie générale.
Zoologie, Botanique, Paléontologie	Examens d'entrée.
Minéralogie	Chimie générale.
Construction et transports	Mécanique appliquée, minéralogie.
Métallurgie générale et sidérurgie	Mécanique appliquée, chimie analytique, minéralogie.
Géologie générale	Zoologie, Botanique, Paléontologie, Minéralogie.
Sources et captage des eaux	Géologie générale.
Exploitation des mines	Topographie, construction, sources.
Métallurgies spéciales	Métallurgie générale, construction.
Électrotechnique	Physique, mécanique appliquée.
Comptabilité	Droit administratif, exploitation des Mines.

II.

ÉCOLE D'INGÉNIEURS INDUSTRIELS DE BILBAO.

Tandis que l'École des Mines de Madrid est rattachée exclusivement au Ministère de l'Instruction publique, l'École de Bilbao est une école provinciale, dépendant de la Députation de Biscaye et de l'*Ayuntamiento* ou conseil municipal de Bilbao. Elle fait partie d'un groupe de trois Écoles fonctionnant sur un mode à peu près semblable: la plus ancienne est celle de Barcelone; celle de Bilbao vient ensuite, sa fondation a été décidée en 1894, et les cours y commencèrent en 1899; enfin l'École de Madrid ne s'est ouverte que dernièrement.

Plusieurs raisons ont conduit à choisir Bilbao comme le centre de l'enseignement technique pour le Nord de l'Espagne; d'abord, de toutes les provinces, la Biscaye est avec la Catalogne celle qui est arrivée au développement industriel le plus complet. Le gisement de fer de Bilbao est activement exploité depuis de très nombreuses années; les usines sidérurgiques installées sur les deux rives du Nervion donnent plus des trois quarts des fontes, fers et aciers produits chaque année en Espagne; le nombre et le débit des cours d'eau qui descendent des Pyrénées y ont fait construire de nombreuses usines hydro-électriques; les fabriques d'armes, de produits chimiques, les ateliers de construction sont très fréquents. On avait donc, aux environs immédiats de Bilbao, de nombreux sujets d'études qui manquent à Madrid.

De plus, Bilbao est un centre politique et intellectuel. C'est la capitale de la Biscaye, une de ces provinces basques qui ont conservé leurs coutumes et leur langue, et se sont toujours considérées comme une région un peu à part dans la plus grande Espagne. Ses relations interna-

tionales lui permettent de se tenir au courant des progrès réalisés ailleurs. C'est aussi une des villes les plus riches d'Espagne, où les grandes entreprises d'intérêt général, comme les travaux du port, trouvent chez les particuliers des subsides généreux.

Aussi quand, le 14 août 1894, fut soumis à l'*Ayuntamiento* de Bilbao un projet d'établissement d'une École d'Ingénieurs industriels, ce projet fut-il approuvé facilement, et la Députation de Biscaye se joignit à la ville pour faire une étude approfondie de la question, pour se documenter sur les institutions analogues de France, de Belgique, d'Allemagne et des États-Unis. En 1897 furent définitivement résolues toutes les difficultés ; l'*Ayuntamiento* de Bilbao prenait à sa charge 45 p. 100, la Députation 55 p. 100 des frais, tant de construction que d'entretien et de fonctionnement de l'école à créer. Le décret royal d'approbation fut signé en 1899.

La caractéristique de l'École de Bilbao, c'est que l'État n'intervient dans son administration que le moins possible ; elle pourra simplement dans l'avenir, si les circonstances l'exigeaient, solliciter son concours financier. La Junte de patronage qui la dirige et l'administre nomme les professeurs après concours et rédige les règlements, qui doivent pourtant être, comme les nominations de professeurs, approuvés par le Ministre de l'Instruction publique ; cette junte comprend 15 membres, 4 nommés par l'*Ayuntamiento*, 4 par la Députation, 4 par le Gouverneur de Biscaye, 3 de droit qui sont les Ingénieurs en chef des Mines et des Ponts et Chaussées de la province et l'Ingénieur-directeur des travaux du port de Bilbao ; les fondateurs y ont donc la majorité.

La Junte peut créer des cours supplémentaires non prévus dans le décret royal, mais alors non obligatoires pour les élèves, augmenter les laboratoires, les musées, les installations nécessaires ; elle exerce sur tout ce qui se

passe à l'École la surveillance comme bon lui semble.

Dans l'étude qui va suivre, nous passerons rapidement sur les points communs avec l'École de Madrid; nous ne développerons un peu que ce qui différencie les deux institutions.

I. **Conditions d'entrée.** — Tout candidat doit d'abord être Espagnol, avoir au moins seize ans et connaître les matières du programme de l'enseignement secondaire, comme à Madrid. De plus, un examen spécial à l'entrée, analogue à celui de Madrid, à peu de différences près, doit être subi dans des conditions identiques.

Il y a toujours deux parties dans chaque examen, un oral et un écrit, ce dernier étant éliminatoire pour l'oral; aux épreuves précédentes s'ajoutent celles de dessin d'imitation, de dessin linéaire, de lavis et de croquis coté et de langue française.

II. **Organisation générale des études. — Examens. — Diplômes.** — Les élèves doivent assister à tous les cours et exercices pratiques; mais comme, à Bilbao, le système du classement des élèves d'après le nombre de points obtenus aux examens n'a pas été adopté, et que l'on se contente de recevoir ou de refuser simplement les élèves aux examens subis, il a fallu trouver une sanction aux absences injustifiées; on a décidé alors qu'une tolérance de 15 p. 100 d'absences à un cours ou à un exercice déterminé serait seule admise et que, ce chiffre dépassé, les élèves comparaitraient devant le Conseil des professeurs, qui pourrait faire redoubler l'année correspondante.

Les cours durent du 1[er] octobre au 15 juin, date à laquelle commence la période des examens de passage ; à part les dimanches et jours fériés, la présence est obligatoire de neuf heures du matin à midi et de deux heures du soir à quatre heures et demie, soit pendant cinq heures et demie.

Les examens de toute nature se passent, comme à Madrid, devant un jury de trois membres, dont le professeur du cours examiné ; les épreuves sont publiques. Elles comprennent, comme à l'entrée, un écrit et un oral. Après chaque examen, une des quatre qualifications suivantes est affectée à l'élève : *sobresaliente* (correspondant à très bien), *notable* (bien), *aprobado* (passable), *suspenso* (refusé). L'élève refusé peut subir à nouveau l'épreuve à une session suivante, la session de juin d'une année étant suivie d'une seconde en septembre. Quand la connaissance des matières d'un cours n'est pas jugée indispensable pour suivre les cours de l'année suivante, l'élève peut, malgré un second échec, continuer ses études.

Les élèves doivent avoir subi avec succès tous les examens du programme pour obtenir le titre d'Ingénieur industriel de l'École de Bilbao ; mais ils peuvent employer pour cela un nombre d'années dont le nombre maximum n'est pas fixé.

Une particularité intéressante de l'École de Bilbao est l'organisation des projets terminaux. Au lieu de donner plusieurs projets dont chacun est souvent trop complet pour pouvoir être étudié sérieusement, il n'y en a qu'un seul, court en général. Il n'est donné aux élèves que quand ils ont subi avec succès tous les examens et qu'ils peuvent s'en occuper sans arrière-pensée.

De plus, chaque élève a un projet distinct et, si l'on demande de se documenter autant que possible par des visites industrielles, du moins prend-on toutes les mesures nécessaires pour éviter que l'élève ne puisse se faire faire son projet à l'extérieur. Dans ce but, l'étude de ces projets est divisée en deux stades, l'avant-projet et le projet définitif. L'élève soutient la discussion de son avant-projet devant un jury composé d'une façon analogue à ceux d'examen. Il expose les raisons qui lui ont fait adopter les grandes lignes de son installation, ré-

pond aux objections qui lui sont posées, et ce n'est qu'après cette première épreuve qu'il peut être admis à l'étude définitive, à l'exécution des dessins nécessaires, à moins que le jury ne juge utile un complément de travail.

Toutes les études, tous les dessins doivent se faire à l'intérieur de l'École, dans des salles déterminées ; entre l'adoption de l'avant-projet et la remise du projet définitif, il y a quarante jours pleins. Le tout se clôt par une discussion du mémoire terminé.

Nous avons dit que chaque élève a un projet distinct, ce qui évite que les candidats ne copient les uns sur les autres, mais ce qui, tant pour les données que pour la correction, exige un travail assez considérable des professeurs. Comment maintenant choisit-on les textes de projets ? Les professeurs des différents cours susceptibles de donner lieu à des études particulières dressent, chaque année, une liste de sujets possibles. Le Conseil des professeurs examine ces propositions, écarte celles qui lui paraissent peu convenables et arrête finalement un nombre de sujets différents, tels que parmi eux on puisse en tirer au sort trois par élève. Celui-ci choisit alors parmi les trois projets qui lui sont offerts celui qui lui convient le mieux, soit qu'il ait dans ses études approfondi plus ou moins telle ou telle branche, soit qu'il sache déjà dans quelle industrie il doit entrer au sortir de l'École.

Ce système donne, à ce qui nous en a été dit, les meilleurs résultats ; les élèves, plus livrés à eux-mêmes, donnent une indication assez exacte de leurs connaissances. La discussion à laquelle sont soumis l'avant-projet et le projet leur permet de se rendre mieux compte de leurs imperfections. Il y a pourtant une ombre au tableau : certains professeurs trouvent que le surcroit de travail qu'il leur nécessite est trop considérable.

Il n'est pas organisé de voyages d'instruction proprement dits : on a institué seulement des visites industrielles sous la conduite des professeurs ; la région environnant immédiatement Bilbao fournit de nombreux sujets d'étude, et les facilités de communication que donne le réseau de voies étroites du Nord de l'Espagne permettent de courtes excursions dans les provinces voisines de Santander et de Guipuzcoa. Dans ces visites, les élèves prennent des notes et des croquis, relèvent des diagrammes de machines, discutent au retour à Bilbao le bien-fondé de telle ou telle disposition. Le cours de chimie appliquée motive des visites aux usines à gaz, aux fabriques de bière et de sucre, aux distilleries de Bilbao ; le cours de construction donne lieu à l'étude des chantiers maritimes, des fabriques de câbles, des stations élévatoires, des ateliers de construction et de montage ; pour la sidérurgie, on examine les hauts fourneaux, les Bessemers, les Martins et les laminoirs des usines du Nervion ; les applications électriques sont étudiées aux centrales de Luchana et de Bilbao, aux fabriques de câbles ; la technologie mécanique conduit aussi aux fabriques diverses de Biscaye. On est donc dans une situation très favorable à tous les points de vue.

Élèves libres. — A côté des élèves qui suivent les cours comme nous l'avons indiqué et que l'on désigne sous le nom d'élèves officiels, d'autres personnes qui ont prouvé, à la suite d'examens, posséder les connaissances théoriques et pratiques qui font l'objet de l'enseignement de l'École, peuvent également obtenir le titre d'ingénieur industriel de l'École de Bilbao ; rentrent dans cette catégorie les élèves qui ont été admis aux examens d'entrée, mais qui n'ont pas suivi assez assidûment les cours, ceux qui ont perdu pour d'autres raisons le titre officiel, ou ceux qui, n'ayant pas subi les examens, ont étudié les matières de l'enseignement de l'École en suivant par exemple les cours

comme auditeurs ou élèves libres. Les examens auxquels se présentent ces élèves libres se passent dans les conditions précédemment indiquées pour les élèves officiels : ceux-ci, d'ailleurs, lorsqu'ils sont refusés par un jury d'examen, ne sont pas autorisés à se représenter immédiatement au même examen, en abandonnant leur qualité d'élèves officiels pour devenir élèves libres. On exige qu'ils attendent pour cela la session d'examen suivante.

Les élèves libres n'ayant passé qu'une partie des examens de l'École peuvent se faire délivrer un certificat constatant les matières auxquelles ils ont satisfait. L'entrée des salles de cours est publique, avec cette restriction que les places sont d'abord réservées aux élèves officiels.

III. **Études**. — La présence minima à l'École est de quatre années pour les élèves officiels ; la première année, dite préparatoire, comprend les cours suivants (nous indiquons entre parenthèses les auteurs recommandés, comme nous avons dit que cela se passait à Madrid) :

	Nombre de leçons
Calcul infinitésimal (Sturm).......	52
Mécanique générale (Flamant)....	73
Géométrie descriptive (Leroy).....	47
Chimie........................	60
Physique générale (Ganot)........	89

Les trois autres années, dites spéciales, se répartissent ainsi les cours d'application :

Première année.

Cours	Nombre de leçons	Ouvrages indiqués
Mécanique appliquée.............	54	Boulvin.
Physique industrielle............	33	Ser.
Construction de machines I......	62	
Stéréotomie.....................	28	Leroy.
Statique graphique...............	54	Flamant.
Technologie mécanique I.........	60	
Chimie analytique...............	60	
Minéralogie élémentaire..........	30	De Lapparent.
Cours par semaine..........	13	

Deuxième année.

Construction de machines II......	93	Boulvin.
Métallurgie générale..............	60	Le Verrier.
Électricité I.....................	53	Dacremont.
Chimie industrielle I.............	53	
Technologie mécanique II........	63	Bricka.
Construction....................	60	
Cours par semaine..........	13	

Troisième année.

Métallurgie du fer................	90	Ledebur.
Électricité II.....................	82	Dacremont.
Chimie industrielle II............	85	
Architecture.....................	30	
Économie politique et Législation..	59	
Topographie.....................	28	
Cours par semaine..........	13	

Les classes orales se font dans la matinée, rarement le soir : les leçons durent une heure et demie, sauf celles d'économie politique et de législation, qui ne sont que d'une heure. Le nombre assez élevé des leçons tient à ce que, comme à Madrid, le professeur procède à de fréquentes interrogations pour se rendre compte de la façon dont les élèves ont étudié le cours.

Les exercices pratiques occupent dans la soirée tout le temps non pris par les cours ; dans l'année prépara-

	Leçons
Électricité	135
Chimie industrielle, Économie industrielle et Législation.	197 (*)
Construction, Architecture et Topographie	118
Dessin	60

Le nombre d'heures de cours faites dans les quatre années correspond ainsi à 2.200 environ : il est donc assez élevé (**).

V. **Frais d'études.** — Les frais d'inscription par cours sont de 15 pesetas par an; les dégâts commis à l'intérieur de l'École sont imputables aux élèves. On doit instituer des bourses pour les élèves peu fortunés, bourses qui d'ailleurs ne comprendraient que les sommes nécessaires aux frais d'inscription et aux achats de livres. On laisserait tout à fait de côté la question de l'existence matérielle des élèves.

Pour terminer, nous donnerons sur les résultats d'examens un certain nombre de renseignements tirés du rapport sur le fonctionnement de l'École publié en 1904.

EXAMENS D'ENTRÉE (examens scientifiques).

	Session de Juin			Session de Septembre		
	Inscrits	Reçus	Refusés	Inscrits	Reçus	Refusés
Arithmétique	163	50	92	129	23	55
Algèbre élémentaire	194	28	57	90	30	34
Géométrie	186	37	49	86	27	22
Trigonométrie	144	28	12	44	19	16
Algèbre supérieure	122	22	29	48	15	21
Géométrie analytique	104	14	15	37	18	10

(*) 176, en mettant tout en leçons de une heure et demie.

(**) A l'École de Saint-Etienne, pour trois années, ce chiffre est de 820 heures.

EXAMENS A L'ÉCOLE.

I. — Session de juin.

Première année.

	Enseignement officiel			Enseignement libre		
	Inscrits	Reçus	Refusés	Inscrits	Reçus	Refusés
Calcul infinitésimal.......	29	17	8	7	»	2
Mécanique	30	10	6	4	»	2
Descriptive...............	27	18	3	10	2	»
Physique.................	20	13	4	10	3	»
Chimie...................	25	18	2	6	1	»
Dessin....................	26	20	3	6	1	»

Deuxième année.

Construction de machines.	19	8	3	»	»	»
Mécanique appliquée......	24	11	»	»	»	»
Physique industrielle......	16	11	1	1	»	»
Technologie mécanique...	16	10	2	2	1	»
Statique graphique........	22	13	2	1	»	1
Stéréotomie..............	28	14	4	4	2	1
Minéralogie...............	21	18	»	3	2	»
Chimie analytique........	24	13	5	1	1	»

Troisième année.

Construction de machines.	12	9	1	»	»	»
Technologie mécanique...	13	12	»	»	»	»
Construction	12	11	1	»	»	»
Métallurgie générale......	18	14	2	»	»	»
Chimie industrielle........	13	8	2	»	»	»
Électricité................	13	7	2	»	»	»

Quatrième année.

Sidérurgie................	4	4	»	»	»	»
Technologie mécanique...	4	4	»	»	»	»
Électricité................	4	2	2	»	»	»
Architecture..............	4	4	»	»	»	»
Économie et Législation...	4	4	»	»	»	»

II. — Session de septembre.

Première année.

	Enseignement officiel			Enseignement libre		
	Inscrits	Reçus	Refusés	Inscrits	Reçus	Refusés
Calcul infinitésimal........	12	6	2	7	»	1
Mécanique...............	20	6	6	4	2	»
Descriptive...............	9	3	2	8	»	»
Physique.................	7	4	1	7	2	»
Chimie..................	7	»	3	5	2	»
Dessin..................	4	»	»	5	2	»
Deuxième année.						
Construction de machines.	11	6	»	»	»	»
Mécanique appliquée......	13	7	»	»	»	»
Physique industrielle......	5	2	»	1	»	»
Technologie mécanique...	6	2	»	1	1	»
Statique graphique........	9	3	1	1	»	»
Stéréotomie..............	14	2	5	2	1	»
Minéralogie..............	3	»	»	1	»	»
Chimie analytique........	11	2	3			
Troisième année.						
Construction de machines.	3	2	»	»	»	»
Technologie mécanique...	1	»	1	»	»	»
Construction.............	1	1	»	»	»	»
Métallurgie générale......	4	3	»	»	»	»
Chimie industrielle........	5	2	3	»	»	»
Électricité...............	6	3	1	»	»	»
Quatrième année.						
Sidérurgie...............	»	»	»	»	»	»
Technologie mécanique...	»	»	»	»	»	»
Électricité...............	2	2	»	»	»	»
Architecture.............	»	»	»	»	»	»
Économie et Législation...	»	»	»	»	»	»

Ces chiffres se rapportent à la première année de fonctionnement normal; depuis, l'École a pris un développement plus grand quant au nombre des élèves; ces

chiffres n'en sont pas moins intéressants et montrent quel fort déchet subissent les promotions aux examens de passage.

Les nombres d'élèves officiels inscrits dans la seconde année de fonctionnement normal furent de 34, 19, 16 et 9 ; ils donnent une idée assez exacte des éliminations successives ; quant aux éliminations à l'entrée, en quatre années consécutives, on a eu les chiffres suivants :

Nombre des inscriptions pour les examens	Nombre des reçus	Proportion p. 100
333	156	47
2574	373	14
2764	604	22
2189	547	25

432

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1904

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux exécutés par M. Coignard, Contrôleur des Mines, sous la direction de M. Nicou, Ingénieur des Mines (Extrait).

§ 1. — Minerais métalliques.

1° *Minerais d'antimoine.* — Stibine des travaux de recherches de Redondes, commune de Chirac (Lozère).

Filon dans les gneiss.

Antimoine p. 100	48,40
Plomb	néant.

2° *Minerais de plomb.* — Galènes à larges facettes de la Lozère et du Gard.

a. Mines de Meyrueis. — Minerai lavé du filon de Pourcarès.
b. Ibid. Minerai brut du nouveau filon.
c. Mines de la Serreyrède, près l'Aigoual (Gard).

	a	*b*	*c*
Plomb p. 100	69,20	81,10	»
Argent par tonne de Pb	1kg,120	1kg,725	1kg,400

3° *Minerais de cuivre et de plomb.* — Galène et cuivre pyriteux,

avec quartz et schistes, des travaux de recherches exécutés au quartier des Roches, commune d'Altier (Lozère).

Filon de 1 mètre de puissance dans les schistes séricíteux.

	a	b
Plomb p. 100	50,80	23,60
Cuivre p. 100	4,50	9,60
Argent par tonne de minerai	600 gr.	300 gr.
Or —	traces	traces

4° *Minerais de zinc et de plomb.* — Calamines plombeuses et galène provenant des recherches effectuées dans les communes de Cubières, de Cubiérettes et d'Altier (Lozère). — Zones minéralisées situées dans les calcaires de l'Hettangien.

N° 1. — Galerie n° 1, de Cubières	Zinc. Plomb.	15,20 p. 100 5,30
N° 2. — Ibid.	Zinc. Argent.	70,50 460 gr. p. t. de Pb
N° 3. — Galerie du Col de Bourbon	Zinc. Plomb.	9,60 p. 100 4,50
N° 4. — Galerie du Col de Bourbon, recoupe Sud	Zinc. Plomb.	33,40 9,80
N° 5. — Galerie du Crouzet n° 1	Zinc. Plomb.	10,50 traces
N° 6. — Crouzet n° 1. Tranchée	Zinc. Plomb.	13,10 2,00
N° 7. — Galerie du Crouzet n° 2	Zinc. Plomb.	10,60 0,30
N° 8. — Tranchée du Crouzet n° 5	Zinc. Plomb.	14,20 3,60
N° 9. — Galerie de Pomaret	Zinc. Plomb.	12,30 0,50
N° 10. — Galerie de Pomaret. Echantillon de choix	Zinc. Plomb.	26,70 9,10
N° 11. — Galerie du Col de Bourbon	Zinc. Plomb.	13,10 traces

La gangue de tous ces minerais est formée de calcaire, de barytine et d'oxyde de fer.

5° *Minerais de zinc et de plomb.* — Onze échantillons provenant

	Teneur en zinc p. 100
lende lavée (Echantillon moyen d'un lot de 100 tonnes)	48,50
alamine (lot vendu à Viviez, Aveyron)	21,00
alamine du chantier n° 5	41,00
lende lavée	46,10
— brute	26,50
— lavée	37,50
— —	41,50

e zinc. — Calamines provenant des recherches ef-
artier de Panissières, commune de Rousson (Gard).
i les dolomies hettangiennes.

1. — Chantier de Castillon.
2. — — du Chêne blanc.
3. — — —
4. — — de la Chataigneraie.

	1	2	3	4
....	37,60	36,40	42,50	32,70
....	0,20	traces	traces	traces
....	1,10	1,90	2,10	1,60
que......	18,30	13,80	11,00	30,70

zinc. — Calamine calcinée des mines du Bleymard

oyen d'un lot de 600 tonnes.

Zinc p. 100........... 28,50

§ 2. — Calcaires bitumineux.

. au nombre de cinquante-huit, provenant des
alte d'Avéjean, commune de Saint-Jean-de-

ı ont été prélevés sur une couche d'asphalte
ance traversée par un puits.
uée dans les calcaires de l'infra-tongrien.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1904

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux exécutés par M. COIGNARD, Contrôleur des Mines, sous la direction de M. NICOU, Ingénieur des Mines (EXTRAIT).

§ 1. — MINERAIS MÉTALLIQUES.

1° *Minerais d'antimoine.* — Stibine des travaux de recherches de Redondes, commune de Chirac (Lozère).

Filon dans les gneiss.

Antimoine p. 100..............	48,40
Plomb........................	néant.

2° *Minerais de plomb.* — Galènes à larges facettes de la Lozère et du Gard.

a. Mines de Meyrueis. — Minerai lavé du filon de Pourcarès.
b. Ibid. Minerai brut du nouveau filon.
c. Mines de la Serreyrède, près l'Aigoual (Gard).

	a	b	c
Plomb p. 100..................	69,20	81,10	»
Argent par tonne de Pb.......	1^{kg},120	1^{kg},725	1^{kg},400

3° *Minerais de cuivre et de plomb.* — Galène et cuivre pyriteux,

avec quartz et schistes, des travaux de recherches exécutés au quartier des Roches, commune d'Altier (Lozère).

Filon de 1 mètre de puissance dans les schistes sériciteux.

	a	b
Plomb p. 100	50,80	23,60
Cuivre p. 100	4,50	9,60
Argent par tonne de minerai	600 gr.	300 gr.
Or —	traces	traces

4° *Minerais de zinc et de plomb.* — Calamines plombeuses et galène provenant des recherches effectuées dans les communes de Cubières, de Cubiérettes et d'Altier (Lozère). — Zones minéralisées situées dans les calcaires de l'Hettangien.

N° 1. — Galerie n° 1, de Cubières	Zinc. Plomb.	15,20 p. 100 5,30
N° 2. — Ibid.	Zinc. Argent.	70,50 460 gr. p. t. de Pb
N° 3. — Galerie du Col de Bourbon	Zinc. Plomb.	9,60 p. 100 4,50
N° 4. — Galerie du Col de Bourbon, recoupe Sud	Zinc. Plomb.	33,40 9,80
N° 5. — Galerie du Crouzet n° 1	Zinc. Plomb.	10,50 traces
N° 6. — Crouzet n° 1. Tranchée	Zinc. Plomb.	13,10 2,00
N° 7. — Galerie du Crouzet n° 2	Zinc. Plomb.	10,60 0,30
N° 8. — Tranchée du Crouzet n° 5	Zinc. Plomb.	14,20 3,60
N° 9. — Galerie de Pomaret	Zinc. Plomb.	12,30 0,50
N° 10. — Galerie de Pomaret. Echantillon de choix	Zinc. Plomb.	26,70 9,10
N° 11. — Galerie du Col de Bourbon	Zinc. Plomb.	13,10 traces

La gangue de tous ces minerais est formée de calcaire, de barytine et d'oxyde de fer.

5° *Minerais de zinc et de plomb.* — Onze échantillons provenant

des travaux de recherches exécutés dans la commune de Trèves (Gard). — Zones minéralisées dans les calcaires du Charmouthien.

N° 1. — Marne blendeuse	Zinc.	23,50 p. 100
N° 2. — Galène avec calamine	Zinc.	20,60
	Plomb.	35,30
	Argent.	860 gr. p. t. de Pb
N° 3. — Quartz et oxyde de fer au contact de la faille	Fer.	30,40 p. 100
	Zinc.	0,30
N° 4. — Schistes noirs, avec blende et mouches de galène	Zinc.	47,50
	Plomb.	1,95
N° 5. — Blende plombeuse des chantiers 1 et 2	Zinc.	46,40
	Plomb.	1,80
N° 6. — Blende plombeuse de la galerie 2 *bis*	Zinc.	31,60
	Plomb.	4,50
N° 7. — Blende plombeuse de la galerie 4 *bis*	Zinc.	29,20
	Plomb.	11,20
	Argent.	720 gr. p. t. de Pb
N° 8. — Blende plombeuse de la galerie n° 5	Zinc.	33,20 p. 100
	Plomb.	1,45
N° 9. — Calamine de la tranchée n° 5	Zinc.	46,80
	Plomb.	traces
N° 10. — Blende plombeuse du chantier 5 *bis*	Zinc.	39,00
	Plomb.	1,60
N° 11. — Blende plombeuse de la galerie n° 6	Zinc.	12,70
	Plomb.	17,20

6° *Minerais de zinc et de plomb.* — Minerais des mines de la Grande-Vernissière (Gard).

N° 1. — Galène en poudre.

Plomb	71,60 p. 100
Argent	99 gr. p. tonne de Pb.

N° 2. — Analyse d'une blende en poudre.

	p. 100
Résidu insoluble	10,50
Plomb	3,80
Zinc	39,80
Carbonate de magnésie	5,50
— chaux	10,70
Fluorure de calcium	9,40
Soufre	20,40

	Teneur en zinc p. 100
N° 3. — Blende lavée (Echantillon moyen d'un lot de 100 tonnes)	48,50
N° 4. — Calamine (lot vendu à Viviez, Aveyron).	21,00
N° 5. — Calamine du chantier n° 5	41,00
N° 6. — Blende lavée	46,10
N° 7. — — brute	26,50
N° 8. — — lavée	37,50
N° 9. — — —	41,50

7° *Minerais de zinc.* — Calamines provenant des recherches effectuées au quartier de Panissières, commune de Rousson (Gard). Filonnets dans les dolomies hettangiennes.

1. — Chantier de Castillon.
2. — — du Chêne blanc.
3. — — —
4. — — de la Chataigneraie.

	1	2	3	4
Zinc p. 100	37,60	36,40	42,50	32,70
Plomb	0,20	traces	traces	traces
Fer	1,10	1,90	2,10	1,60
Acide silicique	18,30	13,80	11,00	30,70

8° *Minerai de zinc.* — Calamine calcinée des mines du Bleymard (Lozère).

Échantillon moyen d'un lot de 600 tonnes.

Zinc p. 100 28,50

§ 2. — Calcaires bitumineux.

1° Échantillons, au nombre de cinquante-huit, provenant des recherches d'asphalte d'Avéjean, commune de Saint-Jean-de-Maruéjols (Gard).

Ces échantillons ont été prélevés sur une couche d'asphalte de 11^{m},87 de puissance traversée par un puits.

La couche est située dans les calcaires de l'infra-tongrien.

des travaux de recherches exécutés dans la commune de Trèves (Gard). — Zones minéralisées dans les calcaires du Charmouthien.

Nº 1. — Marne blendeuse	Zinc.	23,50 p. 100
Nº 2. — Galène avec calamine	Zinc.	20,60
	Plomb.	35,30
	Argent.	860 gr. p. t. de Pb
Nº 3. — Quartz et oxyde de fer au contact de la faille	Fer.	30,40 p. 100
	Zinc.	0,30
Nº 4. — Schistes noirs, avec blende et mouches de galène	Zinc.	47,50
	Plomb.	1,95
Nº 5. — Blende plombeuse des chantiers 1 et 2	Zinc.	46,40
	Plomb.	1,80
Nº 6. — Blende plombeuse de la galerie 2 *bis*	Zinc.	31,60
	Plomb.	4,50
Nº 7. — Blende plombeuse de la galerie 4 *bis*	Zinc.	29,20
	Plomb.	11,20
	Argent.	720 gr. p. t. de Pb
Nº 8. — Blende plombeuse de la galerie nº 5	Zinc.	33,20 p. 100
	Plomb.	1,48
Nº 9. — Calamine de la tranchée nº 5	Zinc.	46,80
	Plomb.	traces
Nº 10. — Blende plombeuse du chantier 5 *bis*	Zinc.	39,00
	Plomb.	1,60
Nº 11. — Blende plombeuse de la galerie nº 6	Zinc.	12,70
	Plomb.	17,20

6º *Minerais de zinc et de plomb.* — Minerais des mines de la Grande-Vernissière (Gard).

Nº 1. — Galène en poudre.

Plomb	71,60 p. 100
Argent	99 gr. p. tonne de Pb.

Nº 2. — Analyse d'une blende en poudre.

	p. 100
Résidu insoluble	10,50
Plomb	3,80
Zinc	39,80
Carbonate de magnésie	5,50
— chaux	10,70
Fluorure de calcium	9,40
Soufre	20,40

	Teneur en zinc p. 100
N° 3. — Blende lavée (Echantillon moyen d'un lot de 100 tonnes)	48,50
N° 4. — Calamine (lot vendu à Viviez, Aveyron).	21,00
N° 5. — Calamine du chantier n° 5	41,00
N° 6. — Blende lavée	46,10
N° 7. — — brute	26,50
N° 8. — — lavée	37,50
N° 9. — — —	41,50

7° *Minerais de zinc.* — Calamines provenant des recherches effectuées au quartier de Panissières, commune de Rousson (Gard). Filonnets dans les dolomies hettangiennes.

1. — Chantier de Castillon.
2. — — du Chêne blanc.
3. — — —
4. — — de la Chataigneraie.

	1	2	3	4
Zinc p. 100	37,60	36,40	42,50	32,70
Plomb	0,20	traces	traces	traces
Fer	1,10	1,90	2,10	1,60
Acide silicique	18,30	13,80	11,00	30,70

8° *Minerai de zinc.* — Calamine calcinée des mines du Bleymard (Lozère).

Échantillon moyen d'un lot de 600 tonnes.

Zinc p. 100 28,50

§ 2. — Calcaires bitumineux.

1° Échantillons, au nombre de cinquante-huit, provenant des recherches d'asphalte d'Avéjean, commune de Saint-Jean-de-Maruéjols (Gard).

Ces échantillons ont été prélevés sur une couche d'asphalte de 11^{m},87 de puissance traversée par un puits.

La couche est située dans les calcaires de l'infra-tongrien.

mettent en effet chaque année à de nombreux jeunes gens de se préparer aux carrières de l'industrie.

L'École des Mines de Madrid est, à vrai dire, la seule École d'Espagne qui donne à la fois un enseignement complet pour les Mines et la Métallurgie; c'est elle qui a le plus de points communs avec nos Écoles françaises des Mines. Les Écoles d'Ingénieurs industriels ressemblent plus à l'École centrale des Arts et Manufactures; mais, comme pour cette dernière, certains de ses élèves se dirigent plus tard vers les exploitations minières.

Nous avons réuni dans la note qui va suivre les indications que nous avons recueillies non seulement sur l'École des Mines de Madrid, mais encore sur celle des Ingénieurs industriels de Bilbao qui, récemment ouverte, est, tant par les programmes que par l'esprit, conçue dans le sens le plus moderne. Nous passerons successivement en revue ces deux établissements.

I.

ÉCOLE DES MINES DE MADRID.

Il y a encore peu d'années, c'était à Almaden, où se trouve actuellement une École de capataz ou maîtres-mineurs, qu'était installée l'École des Mines espagnole. Transférée depuis à Madrid, elle occupe depuis deux ans un édifice somptueux, éloigné du centre de la ville, sur la large calle de Rios Rosas, édifice dans la construction duquel on a peut-être eu plus en vue les qualités architecturales que la commodité des dispositions.

L'École des Mines de Madrid a pour but de donner l'instruction technique supérieure à un certain nombre de jeunes gens qui entreront dans le Corps des Mines espagnol, ou se destineront aux carrières industrielles.

le plus souvent après un stage plus ou moins long au service de l'État. Elle est régie par le décret royal du 23 février 1901, qui a voulu y réaliser un enseignement aussi pratique que possible ; sans arriver à la solution discutable de certains grands établissements techniques américains où les classes orales sont limitées au strict minimum et où l'on fait construire aux élèves de véritables machines, on a beaucoup condensé les cours théoriques, et développé autant que possible les exercices d'application.

I. **Conditions d'entrée.** — Tout candidat à l'École de Madrid doit être Espagnol, avoir au moins seize ans et réaliser les conditions d'aptitude physique au métier de mineur, c'est-à-dire ne présenter aucune infirmité qui rende difficile l'accomplissement de ses devoirs d'ingénieur ; un certificat médical doit le constater. Il lui faut également prouver qu'il possède les connaissances requises pour l'examen d'études secondaires qui est l'équivalent de notre baccalauréat, soit en présentant le diplôme correspondant, soit en subissant devant un jury spécial des interrogations sur l'histoire générale, l'histoire d'Espagne, la géographie et la langue espagnole.

Après la réalisation de ces diverses formalités vient l'examen proprement dit d'admission, portant sur l'arithmétique, l'algèbre, la trigonométrie et la géométrie analytique à deux et à trois dimensions, sur des matières à très peu près semblables à celles demandées à l'entrée des Écoles de Paris ou de Saint-Étienne. Il n'est exigé aucune connaissance de physique, chimie ou géométrie descriptive, dont l'étude fait partie des cours professés à l'École ; par contre, il faut avoir des notions de dessin linéaire, et, nous en verrons plus loin le motif, une connaissance approfondie de la langue française.

La façon dont se passent les examens est tout à fait

particulière; sur chaque matière, il y a un écrit et un oral, et les épreuves se subissent dans un ordre déterminé, étant entendu qu'un échec dans l'une empêche de passer à l'examen suivant. C'est ainsi qu'après un premier examen d'arithmétique et algèbre élémentaires, en viendra un de géométrie, puis celui d'algèbre supérieure et de trigonométrie, enfin celui de géométrie analytique. Il faut être reçu dans toutes ces matières et également subir avec succès les épreuves de dessin linéaire et de langue française pour pouvoir entrer à l'École. Mais l'on ne met aucune restriction au temps nécessaire pour obtenir les différents certificats d'approbation. Les jurys d'examen ont chaque année deux sessions, en juin et en septembre, dans lesquelles se présentent les candidats à leur volonté.

Une telle manière de procéder, qui supprime tout classement à l'entrée, tient à ce que jusqu'ici on n'a pas encore eu besoin de limiter le nombre des élèves à l'École ; les locaux sont suffisants pour permettre à tous ceux qui sont reçus chaque année (et ils dépassent rarement une quinzaine) de suivre commodément les cours et exercices. Il n'en est pas moins vrai que certains avantages sont accordés aux candidats qui passent ces divers examens avant vingt et un ans révolus et en moins de trois ans, sans avoir subi dans deux épreuves consécutives un échec sur une même partie du programme : ils peuvent seuls entrer comme élèves officiels ou internes (*alumno oficial*), les autres seront des élèves externes ou libres.

II. **Organisation générale des études. — Examens. — Diplômes.** — Les connaissances exigées à l'entrée étant, en somme, peu nombreuses, on comprend que, malgré le désir de réduire les cours théoriques, le temps total de séjour des élèves à l'École soit plus considérable qu'en

France. Le cycle des études comprend six années; les deux premières correspondent à des cours d'instruction générale théorique, les autres aux cours d'application.

Nous avons déjà vu qu'il y avait deux catégories d'élèves, internes et externes ; occupons-nous des premiers : ils sont assujettis à des heures de présence déterminées, doivent assister à tous les cours, exercices, etc., du programme et subir à la fin de chaque année des examens sur les matières enseignées. Ces examens se passent au mois de juin, et une session en septembre permet aux ajournés de la première de tenter à nouveau la chance. La sixième année se termine en plus par un grand projet, après lequel les élèves reçoivent le diplôme d'*Ingeniero de Minas*.

La longueur des études, la non-obligation du service militaire personnel, que l'on soit diplômé ou non, font que beaucoup d'élèves abandonnent avant l'expiration des six ans, et il est rare de voir arriver plus de huit élèves officiels aux examens finaux. Bien que l'on ne promette pas absolument une place dans les services de l'État aux élèves officiels diplômés, néanmoins la plupart de ceux-ci peuvent entrer dans le Corps des Mines. Les postes d'Ingénieurs de l'État sont en effet beaucoup plus nombreux qu'en France et le passage dans l'industrie privée très facile, aussi considère-t-on souvent ces postes comme des situations d'attente. Au bout de deux ans, on peut demander un congé qui ne fait perdre aucun droit à l'avancement, sous la seule réserve que, lors de la promotion au grade d'Ingénieur en chef, on fasse un nouveau stage de deux ans dans les services publics ; ce stage est d'ailleurs singulièrement facilité par le fait que deux années de professorat à Almaden, Mièrès, etc., où il y a des Écoles de maîtres-mineurs, suffisent, et les obligations des professeurs dans ces écoles sont très réduites.

L'élève ayant perdu son titre d'élève officiel par mesure

disciplinaire ou y ayant renoncé peut continuer ses études dans la catégorie des élèves libres, pour lesquels l'école est une vraie Faculté et qui doivent simplement, en fin de compte, avoir satisfait à tous les examens pour prétendre au diplôme d'*Ingeniero de Minas;* mais le diplôme obtenu dans ces conditions ne confère aucun droit à entrer au service de l'État.

Les examens de passage d'une année à l'autre sont subis pour chaque matière devant un jury composé de trois professeurs, dont celui du cours considéré. Les élèves internes sont classés suivant les notes qu'ils ont obtenues; tout exercice fait dans le courant de l'année, toute interrogation, donne lieu à une note intervenant dans le calcul définitif des points de fin d'année.

Pour l'échelle des notes, on distingue les cours dits scientifiques, les projets et les journaux de voyage, des exercices pratiques, travaux graphiques et cours de langues vivantes. Pour les premiers, on cote de 0 à 20; pour les autres, de 0 à 12. Toute note inférieure à 10 dans le premier cas, à 6 dans le second, force l'élève à se représenter pour l'examen à la session suivante, pour l'exercice à redoubler l'année. Il est pourtant une dérogation à cette règle : si l'élève, lors de la reprise des cours, n'a échoué que dans une seule des matières cotées de 0 à 20 ou dans deux de celles cotées de 0 à 12 ou enfin dans deux matières de groupes différents, il peut être admis à suivre les cours de l'année suivante; mais, avant de passer les examens de cette nouvelle année, il doit satisfaire à ceux en retard.

Un total des points est fait à la fin de chaque année d'études en sommant les points obtenus depuis l'entrée à l'École; suivant le total, l'élève reçoit une des trois qualifications suivantes : *sobresaliente* (supérieur), *muy bueno* (très bien), *bueno* (bien).

Il existe à Madrid une institution particulière, c'est la

caja de praticas ou caisse de pratique, qui a pour but de subvenir aux frais des voyages d'instruction, aux dégâts commis par les élèves à l'intérieur de l'École, à certaines dépenses de l'enseignement (produits de laboratoires, etc.) concurremment avec les subventions de l'État. Cette caisse est alimentée par un versement obligatoire de 200 pesetas par élève et par an et par des dons ou legs de particuliers, de sociétés ou d'entreprises industrielles. Elle est administrée par une commission composée du directeur et du sous-directeur de l'École, de trois professeurs et de trois élèves officiels élus par leurs camarades. Cette commission administrative est contrôlée annuellement par le conseil de l'École.

Élèves libres. — Les élèves libres ou externes sont admis à suivre les cours qu'ils désirent sur demande adressée au directeur; ils ne sont assujettis à aucune présence obligatoire, il est d'ailleurs prévu qu'en cas d'insuffisance des locaux l'entrée des salles peut leur être interdite. Ils ont la faculté d'assister aux exercices pratiques, mais doivent alors faire partie de la *caja de praticas* comme les élèves internes. Ils passent des examens sur les matières du programme dans les conditions précédentes et, s'ils n'ont pas suivi certains exercices pratiques, le Conseil de l'École, sur leur demande, fixe la manière dont on s'assurera qu'ils en ont une suffisante habitude. S'ils ont satisfait à toutes les épreuves du programme, ils recevront un diplôme d'ingénieur des mines.

Mais les élèves libres peuvent aussi se contenter de passer des examens sur certaines matières qu'ils estiment devoir leur être plus particulièrement utiles, et les seules conditions imposées dans ce cas sont que le passage d'un examen déterminé soit précédé d'une série d'autres, variables suivant l'examen, et que nous indiquons plus loin. Ils reçoivent alors un certificat constatant qu'ils ont subi avec succès l'épreuve ou les épreuves considérées.

Sixième année.

Cours	Nombre de leçons par semaine
Exploitation des mines et plans souterrains.	3
Métallurgies diverses..	3
Électricité............	3
Comptabilité..........	2
Total des cours par semaine...	11

Les travaux pratiques sont très développés ; en première année, ce sont des applications directes de leçons orales, problèmes d'analyse ou de mécanique, épures, lavis, etc. En deuxième année, des manipulations complètent les cours de physique et de microscopie, des levés de plans et le tracé d'une méridienne celui de topographie. La troisième comprend des croquis de machines, soit à l'École, soit dans les usines, des visites industrielles dans la capitale, en particulier celle du laboratoire d'essais des ingénieurs militaires, du travail d'atelier (montage et maniement des machines), enfin un projet de machines. En quatrième année, à des exercices de chimie, à des travaux pratiques de sciences naturelles, à des visites de laboratoires de chimie on ajoute quelque peu de dessin graphique, que l'on n'avait d'ailleurs pas abandonné en troisième année.

En cinquième et sixième années, les visites industrielles deviennent plus fréquentes ; en cinquième, le cours de construction et de transports est la raison de visites à divers chantiers, aux gares de Madrid ; des essais de matériaux sont faits à l'École, les manipulations chimiques sont poursuivies. A la fin de l'année, les élèves doivent faire un voyage d'instruction sur lequel ils remettent un journal, voyage dans lequel ils voient des ateliers de préparation mécanique, des usines sidérurgiques, des fabriques de produits chimiques et étudient des entreprises de transports.

En sixième année, les travaux pratiques sont très nombreux ; des exercices ou des projets sont faits sur l'exploitation des mines, l'électricité, la comptabilité; les travaux de laboratoire se continuent avec addition de l'étude des machines électriques ; le musée de l'École possède des modèles bien conditionnés d'appareils métallurgiques ; les travaux de topographie des années précédentes sont complétés par des exercices de report de plans à la surface et de démarcation ; les usines et les tramways électriques de Madrid sont également l'objet de visites. Un voyage d'instruction termine l'année, voyage où l'on a surtout en vue l'étude d'un district minier et métallurgique, du captage des eaux, des transports de force, et le levé des plans souterrains.

Enfin, le séjour à l'École se termine par le projet final, dit de fin de carrière.

Les visites d'usines, les voyages d'instruction, se font sous la conduite des professeurs de l'École : cela n'a pas d'inconvénient ici, le très faible nombre des élèves de chaque promotion permettant même dans ces conditions une visite des installations approfondie et profitable à tous. On devra envisager plus tard, si le nombre des élèves vient à augmenter, comme on l'espère, une modification à ce régime.

Laboratoires, musées, etc. — Les installations de l'École au point de vue des exercices pratiques comprennent actuellement des laboratoires de mécanique et d'électricité assez bien installés, avec machine à vapeur, chaudière, moteur à gaz, machines-outils, appareils d'essais, dynamos, etc., que les élèves sont successivement amenés à conduire. Bien que ces laboratoires soient beaucoup plus perfectionnés que ceux de certaines de nos écoles, on songe pourtant déjà à les développer pour familiariser encore plus les élèves avec le maniement des différents types de moteurs usuels. Un crédit de

300.000 pesetas serait demandé dans ce but au Gouvernement.

Les collections de minéralogie, paléontologie, etc., ne comprennent que des échantillons courants; le musée de la carte géologique d'Espagne, qui est remarquablement bien fourni, permet aux étudiants de trouver les compléments utiles; les appareils de géodésie et de topographie sont des types les plus parfaits et en nombre largement suffisant pour les besoins. Enfin, le musée d'exploitation des mines et de métallurgie, grâce aux dons des industriels, comprend des modèles très bien faits de tous les appareils employés ou susceptibles d'être employés en Espagne (fours à cuivre, à plomb, à mercure; fours Martin oscillants, hauts fourneaux, wagons à déchargement automatique, etc.).

Les laboratoires de chimie n'existent pas encore à l'École de Madrid; provisoirement, les élèves travaillent dans des salles peu confortables situées dans un bâtiment annexe où est installé le laboratoire industriel. Trois ingénieurs du Corps des Mines espagnol au moins sont affectés à ce dernier laboratoire; ils s'y livrent à des recherches personnelles ou à des essais et analyses de minerais payés par les intéressés suivant un tarif peu élevé. Le laboratoire industriel constitue une fondation pour laquelle aucun subside de l'État n'a été ou ne sera nécessaire; des cabinets de travail fort bien disposés y ont été établis; les appareils les plus perfectionnés sont à la disposition des ingénieurs, qui peuvent ainsi travailler dans de bonnes conditions; la place est seulement un peu mesurée actuellement par suite de la présence des élèves de l'École des Mines.

Projet de fin de carrière. — Une fois passés tous les examens de la sixième année, il est donné à chaque élève un texte de projet qu'il aura à étudier depuis le milieu de juin jusqu'au 15 octobre, date à laquelle il doit être nécessairement remis. Ce projet sera discuté devant un

jury spécial, qui tiendra compte dans la note donnée non seulement de son caractère pratique, mais dans une large mesure aussi de la correction et de la concision du texte. Il semble d'ailleurs qu'à Madrid comme dans beaucoup d'autres écoles, on ait tendance à donner aux élèves des sujets trop étendus à traiter; de plus il est difficile de s'assurer que le travail remis par l'élève est bien son œuvre personnelle, et c'est pour cela que l'on projette de modifier les conditions actuelles et de prendre une solution très rapprochée de celle adoptée à Bilbao et que nous verrons à propos de cette école.

IV. **Personnel enseignant.** — Le nombre des professeurs est de 17, entre lesquels les cours sont répartis de la manière suivante :

Analyse et Mécanique rationnelle;
Physique et Thermodynamique;
Topographie et géodésie;
Droit administratif, économie politique, comptabilité;
Chimie générale et industrielle;
Mécanique appliquée et machines;
Chimie analytique;
Zoologie, Botanique, Paléontologie, Sources et captage des eaux;
Minéralogie et Pétrographie;
Construction et transports;
Métallurgie et préparation mécanique des minerais;
Électrotechnique;
Travaux graphiques;
Géométrie descriptive;
Exploitation des mines et topographie souterraine;
Allemand;
Anglais.

Les professeurs sont ordinairement membres du Corps des Mines et, pour être attachés à l'École, ils doivent dans ce cas en être sortis avec une des qualifications de *sobresaliente* ou *muy bueno*, avoir été au service actif pen-

dant une durée minima de cinq ans et avoir été trois ans un des cinq professeurs auxiliaires qui remplacent, quand il y a besoin, les professeurs titulaires.

Indépendamment des cours, des exercices pratiques et des voyages d'instruction qu'ils ont à diriger, un ou deux professeurs sont en outre, chaque année, chargés par le Gouvernement, sur la proposition du Conseil de l'École, de faire des voyages d'études en Espagne et à l'étranger pendant les mois de vacances : le but de ces voyages est en général la visite d'Écoles étrangères et la recherche des modifications utiles à apporter à l'enseignement à Madrid. Les frais de ces voyages sont à la charge de l'État ; il en est de même des dépenses pour l'impression des mémoires écrits à ce sujet.

Une charge particulière imposée au personnel enseignant est la suivante : quand il n'existe sur la matière professée aucun livre espagnol, le professeur peut être obligé de l'écrire ; il lui est accordé pour cela un laps de temps de dix années ; tous les trente mois, un quart de cet ouvrage doit être envoyé à l'impression, qui est faite par les soins de l'École. On espère ainsi obtenir assez rapidement des traités espagnols sur toutes les sciences fondamentales. Il faut d'ailleurs ajouter que, comme cela se pratique dans de nombreuses écoles, certains cours sont autographiés et mis à la disposition des élèves.

Le directeur de l'École est un ingénieur en chef de première classe des Mines ; il peut être suppléé par le plus ancien des professeurs appartenant également au Corps des Mines. Un conseil composé de tous les professeurs s'occupe de l'Administration générale de l'École. Chaque professeur est conservateur de la collection correspondant à son cours.

V. **Frais d'études.** — L'enseignement à Madrid est absolument gratuit en ce qui concerne les cours proprement

dits; les élèves internes versent une somme de 200 pesetas pour les exercices pratiques et les frais de voyage, comme nous l'avons vu déjà.

VI. **Enseignement libre.** — Nous avons indiqué comment les élèves libres pouvaient suivre les cours de l'École et passer les examens correspondants. Nous donnerons simplement ci-dessous la liste des examens auxquels on ne peut se présenter qu'en justifiant de certaines connaissances.

Pour pouvoir subir l'examen de :	Il faut avoir été admis en :
Calcul infinitésimal	Examens d'entrée.
Mécanique rationnelle	Calcul infinitésimal.
Géométrie descriptive	Examens d'entrée.
Physique	— et mécanique rationnelle.
Topographie	Examens d'entrée.
Droit administratif	—
Chimie générale	Physique.
Mécanique appliquée et machines	—
Chimie analytique	Chimie générale.
Zoologie, Botanique, Paléontologie	Examens d'entrée.
Minéralogie	Chimie générale.
Construction et transports	Mécanique appliquée, minéralogie.
Métallurgie générale et sidérurgie	Mécanique appliquée, chimie analytique, minéralogie.
Géologie générale	Zoologie, Botanique, Paléontologie, Minéralogie.
Sources et captage des eaux	Géologie générale.
Exploitation des mines	Topographie, construction, sources.
Métallurgies spéciales	Métallurgie générale, construction.
Électrotechnique	Physique, mécanique appliquée.
Comptabilité	Droit administratif, exploitation des Mines.

II.

ÉCOLE D'INGÉNIEURS INDUSTRIELS DE BILBAO.

Tandis que l'École des Mines de Madrid est rattachée exclusivement au Ministère de l'Instruction publique, l'École de Bilbao est une école provinciale, dépendant de la Députation de Biscaye et de l'*Ayuntamiento* ou conseil municipal de Bilbao. Elle fait partie d'un groupe de trois Écoles fonctionnant sur un mode à peu près semblable : la plus ancienne est celle de Barcelone; celle de Bilbao vient ensuite, sa fondation a été décidée en 1894, et les cours y commencèrent en 1899; enfin l'École de Madrid ne s'est ouverte que dernièrement.

Plusieurs raisons ont conduit à choisir Bilbao comme le centre de l'enseignement technique pour le Nord de l'Espagne; d'abord, de toutes les provinces, la Biscaye est avec la Catalogne celle qui est arrivée au développement industriel le plus complet. Le gisement de fer de Bilbao est activement exploité depuis de très nombreuses années; les usines sidérurgiques installées sur les deux rives du Nervion donnent plus des trois quarts des fontes, fers et aciers produits chaque année en Espagne; le nombre et le débit des cours d'eau qui descendent des Pyrénées y ont fait construire de nombreuses usines hydro-électriques; les fabriques d'armes, de produits chimiques, les ateliers de construction sont très fréquents. On avait donc, aux environs immédiats de Bilbao, de nombreux sujets d'études qui manquent à Madrid.

De plus, Bilbao est un centre politique et intellectuel. C'est la capitale de la Biscaye, une de ces provinces basques qui ont conservé leurs coutumes et leur langue, et se sont toujours considérées comme une région un peu à part dans la plus grande Espagne. Ses relations interna-

tionales lui permettent de se tenir au courant des progrès réalisés ailleurs. C'est aussi une des villes les plus riches d'Espagne, où les grandes entreprises d'intérêt général, comme les travaux du port, trouvent chez les particuliers des subsides généreux.

Aussi quand, le 14 août 1894, fut soumis à l'*Ayuntamiento* de Bilbao un projet d'établissement d'une École d'Ingénieurs industriels, ce projet fut-il approuvé facilement, et la Députation de Biscaye se joignit à la ville pour faire une étude approfondie de la question, pour se documenter sur les institutions analogues de France, de Belgique, d'Allemagne et des États-Unis. En 1897 furent définitivement résolues toutes les difficultés; l'*Ayuntamiento* de Bilbao prenait à sa charge 45 p. 100, la Députation 55 p. 100 des frais, tant de construction que d'entretien et de fonctionnement de l'école à créer. Le décret royal d'approbation fut signé en 1899.

La caractéristique de l'École de Bilbao, c'est que l'État n'intervient dans son administration que le moins possible; elle pourra simplement dans l'avenir, si les circonstances l'exigeaient, solliciter son concours financier. La Junte de patronage qui la dirige et l'administre nomme les professeurs après concours et rédige les règlements, qui doivent pourtant être, comme les nominations de professeurs, approuvés par le Ministre de l'Instruction publique; cette junte comprend 15 membres, 4 nommés par l'*Ayuntamiento*, 4 par la Députation, 4 par le Gouverneur de Biscaye, 3 de droit qui sont les Ingénieurs en chef des Mines et des Ponts et Chaussées de la province et l'Ingénieur-directeur des travaux du port de Bilbao; les fondateurs y ont donc la majorité.

La Junte peut créer des cours supplémentaires non prévus dans le décret royal, mais alors non obligatoires pour les élèves, augmenter les laboratoires, les musées, les installations nécessaires; elle exerce sur tout ce qui se

passe à l'École la surveillance comme bon lui semble.

Dans l'étude qui va suivre, nous passerons rapidement sur les points communs avec l'École de Madrid; nous ne développerons un peu que ce qui différencie les deux institutions.

I. Conditions d'entrée. — Tout candidat doit d'abord être Espagnol, avoir au moins seize ans et connaître les matières du programme de l'enseignement secondaire, comme à Madrid. De plus, un examen spécial à l'entrée, analogue à celui de Madrid, à peu de différences près, doit être subi dans des conditions identiques.

Il y a toujours deux parties dans chaque examen, un oral et un écrit, ce dernier étant éliminatoire pour l'oral; aux épreuves précédentes s'ajoutent celles de dessin d'imitation, de dessin linéaire, de lavis et de croquis coté et de langue française.

II. Organisation générale des études. — Examens. — Diplômes. — Les élèves doivent assister à tous les cours et exercices pratiques; mais comme, à Bilbao, le système du classement des élèves d'après le nombre de points obtenus aux examens n'a pas été adopté, et que l'on se contente de recevoir ou de refuser simplement les élèves aux examens subis, il a fallu trouver une sanction aux absences injustifiées; on a décidé alors qu'une tolérance de 15 p. 100 d'absences à un cours ou à un exercice déterminé serait seule admise et que, ce chiffre dépassé, les élèves comparaîtraient devant le Conseil des professeurs, qui pourrait faire redoubler l'année correspondante.

Les cours durent du 1er octobre au 15 juin, date à laquelle commence la période des examens de passage ; à part les dimanches et jours fériés, la présence est obligatoire de neuf heures du matin à midi et de deux heures du soir à quatre heures et demie, soit pendant cinq heures et demie.

Les examens de toute nature se passent, comme à Madrid, devant un jury de trois membres, dont le professeur du cours examiné ; les épreuves sont publiques. Elles comprennent, comme à l'entrée, un écrit et un oral. Après chaque examen, une des quatre qualifications suivantes est affectée à l'élève : *sobresaliente* (correspondant à très bien), *notable* (bien), *aprobado* (passable), *suspenso* (refusé). L'élève refusé peut subir à nouveau l'épreuve à une session suivante, la session de juin d'une année étant suivie d'une seconde en septembre. Quand la connaissance des matières d'un cours n'est pas jugée indispensable pour suivre les cours de l'année suivante, l'élève peut, malgré un second échec, continuer ses études.

Les élèves doivent avoir subi avec succès tous les examens du programme pour obtenir le titre d'Ingénieur industriel de l'École de Bilbao ; mais ils peuvent employer pour cela un nombre d'années dont le nombre maximum n'est pas fixé.

Une particularité intéressante de l'École de Bilbao est l'organisation des projets terminaux. Au lieu de donner plusieurs projets dont chacun est souvent trop complet pour pouvoir être étudié sérieusement, il n'y en a qu'un seul, court en général. Il n'est donné aux élèves que quand ils ont subi avec succès tous les examens et qu'ils peuvent s'en occuper sans arrière-pensée.

De plus, chaque élève a un projet distinct et, si l'on demande de se documenter autant que possible par des visites industrielles, du moins prend-on toutes les mesures nécessaires pour éviter que l'élève ne puisse se faire faire son projet à l'extérieur. Dans ce but, l'étude de ces projets est divisée en deux stades, l'avant-projet et le projet définitif. L'élève soutient la discussion de son avant-projet devant un jury composé d'une façon analogue à ceux d'examen. Il expose les raisons qui lui ont fait adopter les grandes lignes de son installation, ré-

pond aux objections qui lui sont posées, et ce n'est qu'après cette première épreuve qu'il peut être admis à l'étude définitive, à l'exécution des dessins nécessaires, à moins que le jury ne juge utile un complément de travail.

Toutes les études, tous les dessins doivent se faire à l'intérieur de l'École, dans des salles déterminées ; entre l'adoption de l'avant-projet et la remise du projet définitif, il y a quarante jours pleins. Le tout se clôt par une discussion du mémoire terminé.

Nous avons dit que chaque élève a un projet distinct, ce qui évite que les candidats ne copient les uns sur les autres, mais ce qui, tant pour les données que pour la correction, exige un travail assez considérable des professeurs. Comment maintenant choisit-on les textes de projets ? Les professeurs des différents cours susceptibles de donner lieu à des études particulières dressent, chaque année, une liste de sujets possibles. Le Conseil des professeurs examine ces propositions, écarte celles qui lui paraissent peu convenables et arrête finalement un nombre de sujets différents, tels que parmi eux on puisse en tirer au sort trois par élève. Celui-ci choisit alors parmi les trois projets qui lui sont offerts celui qui lui convient le mieux, soit qu'il ait dans ses études approfondi plus ou moins telle ou telle branche, soit qu'il sache déjà dans quelle industrie il doit entrer au sortir de l'École.

Ce système donne, à ce qui nous en a été dit, les meilleurs résultats ; les élèves, plus livrés à eux-mêmes, donnent une indication assez exacte de leurs connaissances. La discussion à laquelle sont soumis l'avant-projet et le projet leur permet de se rendre mieux compte de leurs imperfections. Il y a pourtant une ombre au tableau : certains professeurs trouvent que le surcroit de travail qu'il leur nécessite est trop considérable.

Il n'est pas organisé de voyages d'instruction proprement dits : on a institué seulement des visites industrielles sous la conduite des professeurs ; la région environnant immédiatement Bilbao fournit de nombreux sujets d'étude, et les facilités de communication que donne le réseau de voies étroites du Nord de l'Espagne permettent de courtes excursions dans les provinces voisines de Santander et de Guipuzcoa. Dans ces visites, les élèves prennent des notes et des croquis, relèvent des diagrammes de machines, discutent au retour à Bilbao le bien-fondé de telle ou telle disposition. Le cours de chimie appliquée motive des visites aux usines à gaz, aux fabriques de bière et de sucre, aux distilleries de Bilbao ; le cours de construction donne lieu à l'étude des chantiers maritimes, des fabriques de câbles, des stations élévatoires, des ateliers de construction et de montage ; pour la sidérurgie, on examine les hauts fourneaux, les Bessemers, les Martins et les laminoirs des usines du Nervion ; les applications électriques sont étudiées aux centrales de Luchana et de Bilbao, aux fabriques de câbles ; la technologie mécanique conduit aussi aux fabriques diverses de Biscaye. On est donc dans une situation très favorable à tous les points de vue.

Élèves libres. — A côté des élèves qui suivent les cours comme nous l'avons indiqué et que l'on désigne sous le nom d'élèves officiels, d'autres personnes qui ont prouvé, à la suite d'examens, posséder les connaissances théoriques et pratiques qui font l'objet de l'enseignement de l'École, peuvent également obtenir le titre d'ingénieur industriel de l'École de Bilbao ; rentrent dans cette catégorie les élèves qui ont été admis aux examens d'entrée, mais qui n'ont pas suivi assez assidûment les cours, ceux qui ont perdu pour d'autres raisons le titre officiel, ou ceux qui, n'ayant pas subi les examens, ont étudié les matières de l'enseignement de l'École en suivant par exemple les cours

comme auditeurs ou élèves libres. Les examens auxquels se présentent ces élèves libres se passent dans les conditions précédemment indiquées pour les élèves officiels : ceux-ci, d'ailleurs, lorsqu'ils sont refusés par un jury d'examen, ne sont pas autorisés à se représenter immédiatement au même examen, en abandonnant leur qualité d'élèves officiels pour devenir élèves libres. On exige qu'ils attendent pour cela la session d'examen suivante.

Les élèves libres n'ayant passé qu'une partie des examens de l'École peuvent se faire délivrer un certificat constatant les matières auxquelles ils ont satisfait. L'entrée des salles de cours est publique, avec cette restriction que les places sont d'abord réservées aux élèves officiels.

III. **Études**. — La présence minima à l'École est de quatre années pour les élèves officiels ; la première année, dite préparatoire, comprend les cours suivants (nous indiquons entre parenthèses les auteurs recommandés, comme nous avons dit que cela se passait à Madrid) :

	Nombre de leçons
Calcul infinitésimal (Sturm).......	52
Mécanique générale (Flamant)....	73
Géométrie descriptive (Leroy).....	47
Chimie.........................	60
Physique générale (Ganot)........	89

Les trois autres années, dites spéciales, se répartissent ainsi les cours d'application :

Première année.

Cours	Nombre de leçons	Ouvrages indiqués
Mécanique appliquée	54	Boulvin.
Physique industrielle	33	Ser.
Construction de machines I	62	
Stéréotomie	28	Leroy.
Statique graphique	54	Flamant.
Technologie mécanique I	60	
Chimie analytique	60	
Minéralogie élémentaire	30	De Lapparent.
Cours par semaine		13

Deuxième année.

Construction de machines II	93	Boulvin.
Métallurgie générale	60	Le Verrier.
Électricité I	53	Dacremont.
Chimie industrielle I	53	
Technologie mécanique II	63	Bricka.
Construction	60	
Cours par semaine		13

Troisième année.

Métallurgie du fer	90	Ledebur.
Électricité II	82	Dacremont.
Chimie industrielle II	85	
Architecture	30	
Économie politique et Législation	59	
Topographie	28	
Cours par semaine		13

Les classes orales se font dans la matinée, rarement le soir : les leçons durent une heure et demie, sauf celles d'économie politique et de législation, qui ne sont que d'une heure. Le nombre assez élevé des leçons tient à ce que, comme à Madrid, le professeur procède à de fréquentes interrogations pour se rendre compte de la façon dont les élèves ont étudié le cours.

Les exercices pratiques occupent dans la soirée tout le temps non pris par les cours ; dans l'année prépara-

	Leçons
Électricité	135
Chimie industrielle, Économie industrielle et Législation.	197(*)
Construction, Architecture et Topographie	118
Dessin	60

Le nombre d'heures de cours faites dans les quatre années correspond ainsi à 2.200 environ : il est donc assez élevé (**).

V. **Frais d'études.** — Les frais d'inscription par cours sont de 15 pesetas par an ; les dégâts commis à l'intérieur de l'École sont imputables aux élèves. On doit instituer des bourses pour les élèves peu fortunés, bourses qui d'ailleurs ne comprendraient que les sommes nécessaires aux frais d'inscription et aux achats de livres. On laisserait tout à fait de côté la question de l'existence matérielle des élèves.

Pour terminer, nous donnerons sur les résultats d'examens un certain nombre de renseignements tirés du rapport sur le fonctionnement de l'École publié en 1904.

EXAMENS D'ENTRÉE (examens scientifiques).

	Session de Juin			Session de Septembre		
	Inscrits	Reçus	Refusés	Inscrits	Reçus	Refusés
Arithmétique	163	50	92	129	23	55
Algèbre élémentaire.	194	28	57	90	30	34
Géométrie	186	37	49	86	27	22
Trigonométrie	144	28	12	44	19	16
Algèbre supérieure	122	22	29	48	15	21
Géométrie analytique.	104	14	15	37	18	10

(*) 176, en mettant tout en leçons de une heure et demie.

(**) A l'École de Saint-Etienne, pour trois années, ce chiffre est de 820 heures.

EXAMENS A L'ÉCOLE.

I. — Session de juin.

Première année.

	Enseignement officiel			Enseignement libre		
	Inscrits	Reçus	Refusés	Inscrits	Reçus	Refusés
Calcul infinitésimal.......	29	17	8	7	»	2
Mécanique	30	10	6	4	»	2
Descriptive	27	18	3	10	2	»
Physique.................	20	13	4	10	3	»
Chimie..................	25	18	2	6	1	»
Dessin....................	26	20	3	6	1	»

Deuxième année.

Construction de machines.	19	8	3	»	»	»
Mécanique appliquée......	24	11	»	»	»	»
Physique industrielle......	16	11	1	1	»	»
Technologie mécanique...	16	10	2	2	1	»
Statique graphique........	22	13	2	1	»	1
Stéréotomie..............	28	14	4	4	2	1
Minéralogie..............	21	18	»	3	2	»
Chimie analytique........	24	13	5	1	1	»

Troisième année.

Construction de machines.	12	9	1	»	»	»
Technologie mécanique...	13	12	»	»	»	»
Construction	12	11	1	»	»	»
Métallurgie générale......	18	14	2	»	»	»
Chimie industrielle........	13	8	2	»	»	»
Électricité................	13	7	2	»	»	»

Quatrième année.

Sidérurgie................	4	4	»	»	»	»
Technologie mécanique...	4	4	»	»	»	»
Électricité................	4	2	2	»	»	»
Architecture..............	4	4	»	»	»	»
Économie et Législation...	4	4	»	»	»	»

II. — Session de septembre.

	Enseignement officiel			Enseignement libre		
	Inscrits	Reçus	Refusés	Inscrits	Reçus	Refusés
Première année.						
Calcul infinitésimal........	12	6	2	7	»	1
Mécanique................	20	6	6	4	2	»
Descriptive..............	9	3	2	8	»	»
Physique.................	7	4	1	7	2	»
Chimie...................	7	»	3	5	2	»
Dessin...................	4	»	»	5	2	»
Deuxième année.						
Construction de machines.	11	6	»	»	»	»
Mécanique appliquée......	13	7	»	»	»	»
Physique industrielle......	5	2	»	1	»	»
Technologie mécanique...	6	2	»	1	1	»
Statique graphique........	9	3	1	1	»	»
Stéréotomie..............	14	2	5	2	1	»
Minéralogie...............	3	»	»	1	»	»
Chimie analytique........	11	2	3			
Troisième année.						
Construction de machines.	3	2	»	»	»	»
Technologie mécanique...	1	»	1	»	»	»
Construction.............	1	1	»	»	»	»
Métallurgie générale......	4	3	»	»	»	»
Chimie industrielle........	5	2	3	»	»	»
Électricité................	6	3	1	»	»	»
Quatrième année.						
Sidérurgie................	»	»	»	»	»	»
Technologie mécanique...	»	»	»	»	»	»
Électricité................	2	2	»	»	»	»
Architecture..............	»	»	»	»	»	»
Économie et Législation...	»	»	»	»	»	»

Ces chiffres se rapportent à la première année de fonctionnement normal; depuis, l'École a pris un développement plus grand quant au nombre des élèves; ces

chiffres n'en sont pas moins intéressants et montrent quel fort déchet subissent les promotions aux examens de passage.

Les nombres d'élèves officiels inscrits dans la seconde année de fonctionnement normal furent de 34, 19, 16 et 9 ; ils donnent une idée assez exacte des éliminations successives ; quant aux éliminations à l'entrée, en quatre années consécutives, on a eu les chiffres suivants :

Nombre des inscriptions pour les examens	Nombre des reçus	Proportion p. 100
333	156	47
2574	373	14
2761	604	22
2189	547	25

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS EN 1904

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE D'ALAIS.

Travaux exécutés par M. Coignard, Contrôleur des Mines, sous la direction de M. Nicou, Ingénieur des Mines (Extrait).

§ 1. — Minerais métalliques.

1° *Minerais d'antimoine.* — Stibine des travaux de recherches de Redondes, commune de Chirac (Lozère).

Filon dans les gneiss.

Antimoine p. 100..............	48,40
Plomb..........................	néant.

2° *Minerais de plomb.* — Galènes à larges facettes de la Lozère et du Gard.

a. Mines de Meyrueis. — Minerai lavé du filon de Pourcarès.
b. Ibid. Minerai brut du nouveau filon.
c. Mines de la Serreyrède, près l'Aigoual (Gard).

	a	b	c
Plomb p. 100..................	69,20	81,10	»
Argent par tonne de Pb.......	1kg,120	1kg,725	1kg,400

3° *Minerais de cuivre et de plomb.* — Galène et cuivre pyriteux,

avec quartz et schistes, des travaux de recherches exécutés au quartier des Roches, commune d'Altier (Lozère).

Filon de 1 mètre de puissance dans les schistes sériciteux.

	a	b
Plomb p. 100	50,80	23,60
Cuivre p. 100	4,50	9,60
Argent par tonne de minerai	600 gr.	300 gr.
Or —	traces	traces

4° *Minerais de zinc et de plomb.* — Calamines plombeuses et galène provenant des recherches effectuées dans les communes de Cubières, de Cubiérettes et d'Altier (Lozère). — Zones minéralisées situées dans les calcaires de l'Hettangien.

N° 1. — Galerie n° 1, de Cubières	Zinc. Plomb.	15,20 p. 100 5,30
N° 2. — Ibid.	Zinc. Argent.	70,50 460 gr. p. t. de Pb
N° 3. — Galerie du Col de Bourbon	Zinc. Plomb.	9,60 p. 100 4,50
N° 4. — Galerie du Col de Bourbon, recoupe Sud	Zinc. Plomb.	33,40 9,80
N° 5. — Galerie du Crouzet n° 1	Zinc. Plomb.	10,50 traces
N° 6. — Crouzet n° 1. Tranchée	Zinc. Plomb.	13,10 2,00
N° 7. — Galerie du Crouzet n° 2	Zinc. Plomb.	10,60 0,30
N° 8. — Tranchée du Crouzet n° 5	Zinc. Plomb.	14,20 3,60
N° 9. — Galerie de Pomaret	Zinc. Plomb.	12,30 0,50
N° 10. — Galerie de Pomaret. Echantillon de choix	Zinc. Plomb.	26,70 9,10
N° 11. — Galerie du Col de Bourbon	Zinc. Plomb.	13,10 traces

La gangue de tous ces minerais est formée de calcaire, de barytine et d'oxyde de fer.

5° *Minerais de zinc et de plomb.* — Onze échantillons provenant

des travaux de recherches exécutés dans la commune de Trèves (Gard). — Zones minéralisées dans les calcaires du Charmouthien.

N° 1. — Marne blendeuse	Zinc.	23,50 p. 100
N° 2. — Galène avec calamine	Zinc.	20,60
	Plomb.	33,30
	Argent.	840 gr. p. t. de Pb
N° 3. — Quartz et oxyde de fer au contact de la faille	Fer.	30,40 p. 100
	Zinc.	0,30
N° 4. — Schistes noirs, avec blende et mouches de galène	Zinc.	47,30
	Plomb.	1,95
N° 5. — Blende plombeuse des chantiers 1 et 2	Zinc.	46,40
	Plomb.	1,80
N° 6. — Blende plombeuse de la galerie 2 *bis*	Zinc.	31,60
	Plomb.	4,50
N° 7. — Blende plombeuse de la galerie 4 *bis*	Zinc.	29,20
	Plomb.	14,20
	Argent.	720 gr. p. t. de Pb
N° 8. — Blende plombeuse de la galerie n° 3	Zinc.	33,20 p. 100
	Plomb.	1,45
N° 9. — Calamine de la tranchée n° 5	Zinc.	46,80
	Plomb.	traces
N° 10. — Blende plombeuse du chantier 5 *bis*	Zinc.	39,00
	Plomb.	1,60
N° 11. — Blende plombeuse de la galerie n° 6	Zinc.	42,70
	Plomb.	17,20

6° *Minerais de zinc et de plomb.* — Minerais des mines de la Grande-Vernissière (Gard).

N° 1. — Galène en poudre.

Plomb	71,60 p. 100
Argent	99 gr. p. tonne de Pb.

N° 2. — Analyse d'une blende en poudre.

	p. 100
Résidu insoluble	10,50
Plomb	3,80
Zinc	39,80
Carbonate de magnésie	5,50
— chaux	10,70
Fluorure de calcium	9,40
Soufre	20,40

	Teneur en zinc p. 100
N° 3. — Blende lavée (Echantillon moyen d'un lot de 100 tonnes)	48,50
N° 4. — Calamine (lot vendu à Viviez, Aveyron).	21,00
N° 5. — Calamine du chantier n° 5	41,00
N° 6. — Blende lavée	46,10
N° 7. — — brute	26,50
N° 8. — — lavée	37,50
N° 9. — — —	41,50

7° *Minerais de zinc.* — Calamines provenant des recherches effectuées au quartier de Panissières, commune de Rousson (Gard). Filonnets dans les dolomies hettangiennes.

1. — Chantier de Castillon.
2. — — du Chêne blanc.
3. — — —
4. — — de la Chataigneraie.

	1	2	3	4
Zinc p. 100	37,60	36,40	42,50	32,70
Plomb	0,20	traces	traces	traces
Fer	1,10	1,90	2,10	1,60
Acide silicique	18,30	13,80	11,00	30,70

8° *Minerai de zinc.* — Calamine calcinée des mines du Bleymard (Lozère).

Échantillon moyen d'un lot de 600 tonnes.

Zinc p. 100 28,50

§ 2. — Calcaires bitumineux.

1° Échantillons, au nombre de cinquante-huit, provenant des recherches d'asphalte d'Avéjean, commune de Saint-Jean-de-Maruéjols (Gard).

Ces échantillons ont été prélevés sur une couche d'asphalte de 11^{m},87 de puissance traversée par un puits.

La couche est située dans les calcaires de l'infra-tongrien.

NUMÉROS d'ordre	ÉPAISSEUR des bancs	BITUME p. 100	NUMÉROS d'ordre	ÉPAISSEUR des bancs	BITUME p. 100
	mètre			mètre	
1	0,25	2,50	35	0,27	3,90
2	0,57	7,60	36	0,30	2,10
3	0,41	14,30	37	0,30	13,30
4	0,11	0,60	38	0,11	1,00
5	0,04	16,20	39	0,16	4,40
6 à 9	0,51	0,25	40	0,06	0,50
10 à 12	0,31	12,70	41 et 42	0,73	7,35
13	0,08	traces	43	0,16	0,20
14	0,14	11,00	44	0,11	6,10
15	0,06	3,80	45	0,35	traces
16	0,27	11,70	46	0,28	6,60
17 à 19	0,10	2,40	47	0,18	traces
20	0,15	7,10	48 et 49	0,61	8,50
21	0,12	1,30	50	0,05	0,10
22 à 24	0,‑9	14,50	51	0,08	11,00
25 à 27	0,19	1,70	52	0,07	0,30
28	0,15	12,70	53 à 55	0,48	10,00
29 et 30	0,90	8,10	56	0,20	14,40
31 à 33	1,06	2,70	57	0,35	4,70
34	0,07	6,80	58	0,66	7,70

2° Échantillons, au nombre de quarante-cinq, provenant des mêmes recherches et retirés d'un sondage entre les profondeurs de 167 et 180 mètres.

La puissance de la couche d'asphalte recoupée est de 12m,55.

NUMÉROS d'ordre	ÉPAISSEUR des bancs	BITUME p. 100	NUMÉROS d'ordre	ÉPAISSEUR des bancs	BITUME p. 100
	mètre			mètre	
1	0,03	15,40	22	0,38	9,10
2	0,02	3,50	23	0,08	traces
3	0,04	13,60	24	0,16	3,90
4	0,04	12,20	25	0,30	6,80
5	0,05	7,70	26	0,39	10,00
6	0,02	traces	27	0,25	4,60
7 à 9	0,08	0,20	28	0,16	11,10
10	0,21	traces	29	0,35	11,90
11	0,05	0,10	30	0,29	7,20
12	0,35	11,90	31	0,81	12,70
13	0,09	8,30	32	0,46	8,60
14	0,18	12,50	33	0,07	2,80
15	0,17	5,20	34 et 35	0,18	11,20
16	0,14	7,00	36	0,12	3,80
17	0,08	3,40	37	0,33	10,40
18	0,30	8,70	38	0,15	7,70
19	0,15	4,20	39 à 42	1,07	12,50
20	0,46	9,80	43	0,36	12,10
21	0,16	7,30	44 et 45	0,12	8,80

§ 3. — Eaux minérales.

1° *Eaux minérales* de Vals-les-Bains (Ardèche).

a. Source Vals-Française.
b. Source A-1.
c. Source B-2.
d. Source Carmen n° 2
e. { 1° Source Minerve (ap. 1/2 heure de pompage).
{ 2° — (ap. 8 h. 1/2 de pompage).

SUBSTANCES DOSÉES	a	b	c	d	e 1°	e 2°
	Par litre					
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Bicarbonate de soude....	6,045	3,077	3,622	1,845	7,294	6,599
— de potasse..	0,364	0,240	0,265	0,120	0,482	0,466
— de chaux....	0,247	0,422	0,535	0,216	0,648	0,555
— de magnésie.	0,345	0,323	0,403	0,243	0,589	0,547
— de protoxyde de fer..................	0,022	0,013	0,018	0,013	0,022	0,024
Sulfate de soude.........	0,053	0,034	0,037	0,036	0,073	0,064
Chlorure de sodium.....	0,126	0,075	0,089	0,093	0,205	0,181
Acide silicique..........	0,081	0,071	0,071	0,044	0,059	0,059
Acide carbonique libre...	1,380	1,098	1,473	0,900	1,177	1,052
Résidu sec, à 180 degrés.	5,200	3,051	3,607	1,880	6,720	6,082
Titre alcalimétrique en SO^4H^2 normal.........	93cc,4	54cc,5	65cc,0	33cc,0	121cc,0	108cc,0

2° *Eaux minérales* de Labégude.

a. Source Nougier.
b. — (ap. 10 m. de pompage).
c. — (ap. 1 h. 3/4 de pompage).

SUBSTANCES DOSÉES	a	b	c
		Par litre	
	gr.	gr.	gr.
Bicarbonale de soude	5,059	3,750	0,888
— de potasse	0,364	0,337	0,149
— de chaux	0,533	0,432	0,319
— de magnésie	0,397	0,378	0,269
— de protoxyde de fer.	0,011	0,006	0,022
Sulfate de soude	0,101	0,152	0,250
Chlorure de sodium	0,173	0,189	0,177
Acide silicique	0,061	0,053	0,028
Acide carbonique libre	1,472	1,227	1,359
Résidu sec à 180 degrés	4,840	3,850	1,600
Titre alcalimétrique en SO^4H^2 normal	85cc,0	65cc,7	22cc,2

Essais alcalimétriques de vingt échantillons prélevés à une demi-heure d'intervalle pendant une période de pompage de dix heures consécutives (Source Nougier).

NUMÉROS d'ordre	TITRE ALCALIMÉTRIQUE en SO^4H^2 normal	NUMÉROS d'ordre	TITRE ALCALIMÉTRIQUE en SO^4H^2 normal
1	22 cent. cubes par litre	11	13,5 cent. cubes par litre
2	22 —	12	15 —
3	114 —	13	17 —
4	101 —	14	22 —
5	14 —	15	24 —
6	9 —	16	26 —
7	10 —	17	27 —
8	11 —	18	26 —
9	12 —	19	34 —
10	13 —	20	34 —

Ces résultats montrent que la minéralisation de l'eau de la Source Nougier est très irrégulière.

Il en est de même du reste de beaucoup d'eaux de Vals.

II. — LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES MINES DE SAINT-ÉTIENNE.

Travaux effectués sous la direction de M. VICAIRE, Ingénieur des Mines (EXTRAIT).

§ 1. — COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

1° *Anthracites* de la Mure (Isère) :

a. Charbon du Villaret.
b. — de la Motte.

		a	*b*
Densité		1,352	1,354
Humidité		4,87 p. 100	4,72 p. 100
Matières volatiles (sans eau)		2,26	1,77
Nature des matières volatiles (pour 100 volumes)	C	48,01	50,28
	H	30,95	28,23
	O	1,36	2,26
	Az	10,13	3,95
	S	9,90	15,82
Carbone fixe		95,29	96,27
Coke		97,74	98,23
Cendres		2,45	1,95
Soufre total		1,24	1,20
Pouvoir calorifique		8.315	8.229

Analyse des cendres.

	p. 100	p. 100
SiO^2	30,95	34,03
Al^2O^3	20,06	12,92
FeO^3	33,60	35,00
Mn	1,29	0,83
CaO	7,70	7,80
MgO	1,91	3,28
SO^3	0,03	néant
P^2O^5	néant	néant
Alcali (en K^2O)	4,07	3,64

2° *Charbons* de Sainte-Paule (Rhône) :

a. Niveau nord à 57^m,40 de profondeur.
b. Niveau sud à 57^m,40 —

	a	b
Humidité............	3,45	5,34
Cendres.............	17,78	8,38
Matières volatiles....	22,02	20,82
Carbone fixe.........	55,05	65,47
Rendement en coke..	72,83	73,85
Aspect du coke......	aggloméré, boursouflé	(comme *a*)

3° *Charbon* de Czeladz (Galicie), deux échantillons.

	a	b
Humidité............	2,73	2,88
Cendres.............	28,78	22,79
Matières volatiles....	26,75	28,40
Coke................	70,52	68,71
Aspect du coke......	aggloméré	aggloméré
Pouvoir calorifique...	5.548 c.	6.273 c.

4° *Lignite* provenant de Bornéo :

Rendement en coke		80,41
Sur le coke	Cendres	4,21 p. 100
	Soufre	0,87
	Pouvoir calorifique	7.509 c.

§ 2. — Eaux minérales.

Eaux minérales de Buis-les-Baronnies, de Saint-Galmier et de Pougues.

	Buis-les-Baronnies	St-Galmier Badoit	Pougues-Saint-Léon
	gr. par litre	gr. par litre	gr. par litre
Résidu sec à 180°..............	4,0185	1,6258	2,6068
CO^2 libre....................	»	3,1970	2,6770
CO^2 total....................	0,4002	3,7385	3,6370
SiO^2.........................	0,0097	0,0396	0,0188
Cl..............................	0,0504	0,0840	0,1181
SO^3.........................	1,9187	0,0389	0,0962
P^2O^5.......................	0,0003	0,0001	néant
Al^2O^3......................	0,0037	»	0,0005
FeO.............................	0,0015	0,0018	0,0090
MnO.............................	0,0002	»	0,0[illegible]26
CaO.............................	0,5532	0,3023	0,6748
MgO.............................	0,8048	0,2061	0,1345
K^2O.........................	0,0003	0,0039	0,0312
Na^2O........................	0,4190	0,3495	0,5671
Li^2O........................	0,0002	»	0,0015
Matières organiques en O.....	0,0036	»	0,0018
Iode............................	»	»	faibles tr.

III. — LABORATOIRE DU MANS.

Travaux effectués par MM. FOURMOND, Sous-Ingénieur des Mines, et HUGUET, Chimiste, sous la direction de M. ANGLÈS-DAURIAC, Ingénieur des Mines (EXTRAIT).

MINERAIS MÉTALLIQUES.

La découverte de gisements aurifères dans les départements de la Mayenne et de Maine-et-Loire a fourni au Laboratoire du Mans l'occasion de rechercher l'or et l'argent dans un assez grand nombre de minerais de diverse nature : quartz, plus ou moins chargé d'oxyde de fer, de pyrite, de sulfure d'antimoine (Mayenne) ou de mispickel (Maine-et-Loire).

L'or et l'argent ont été dosés dans 37 échantillons; on citera seulement ceux qui ont fourni des résultats intéressants.

1° *Minerais de la Mayenne.*

	OR	ARGENT
	gr. p. tonne	gr. p. tonne
1. — Diabase avec quartz et pyrite	3	4
2. — Quartz et sulfure d'antimoine de la mine de La Lucette	100	6
3. — Quartz et sulfure d'antimoine de la mine de La Lucette	205	11
4. — Quartz et sulfure d'antimoine de la mine de La Lucette	290	17
5. — Roche encaissant les filons de sulfure d'antimoine du gisement de La Lucette	néant	néant
6. — Quartz	traces	10
7. — Quartz ferrugineux	traces	12
8. — Quartz et pyrite	3	16
9. — Quartz ferrugineux	55	1
10. — Minerai de fer argileux	traces	9
11. — —	traces	11
12. — Quartz ferrugineux	traces	14
13. — Roche schisteuse (venant de La Lucette)	8	néant
14. — Roche quartzeuse —	5	4
15. — — —	7	10
16. — — —	108	6
17. — — —	3	néant
18. — — —	18	2

2° *Minerais de Maine-et-Loire.* — Saint-Pierre-Montlimart.

	OR	ARGENT
	gr. p. tonne	gr. p. tonne
1. — Quartz	4	3
2. — Quartz et mispickel	87	7
3. — —	traces	traces

IV. — LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. SIMON, Contrôleur des Mines (EXTRAIT).

§ 1. — MINERAIS MÉTALLIQUES.

1° *Minerais de zinc et de plomb.* — Échantillons provenant de Dra Sfa, commune mixte de Rhira, prélevés et remis au Laboratoire par M. Dussert, Ingénieur des Mines. (11 échantillons de minerais de zinc et 2 de minerais de plomb.)

N° 1. — Série d'échantillons scoriacés bruns.

N° 2. — Échantillon assez compact, assez friable, blanc jaunâtre.

N° 3. — Série d'échantillons les uns de teinte brun rouge, les autres nougatés, blanc rougeâtre, assez friables.

N° 4. — Échantillons gris très scoriacés à pâte compacte et dense.

N° 5. — Échantillon feuilleté et zoné, gris rougeâtre.

N° 6. — Échantillons feuilletés et scoriacés, quelques-uns assez compacts.

N° 7. — Échantillon concrétionné brun avec enduits blanchâtres.

N° 8. — Échantillon brun rouge, compact ou feuilleté suivant les points.

N° 9. — Échantillons zonés de teinte jaune rouge, avec parties ayant l'aspect d'ocre jaune.

N° 10. — Échantillons blanc grisâtre, les uns assez compacts avec géodes, les autres faiblement feuilletés.

N° 11. — Échantillon en poudre grossière, jaunâtre, renfermant de petits cristaux assez réfringents.

N° 12. — Échantillon terreux, brun jaune, assez friable, avec petits cristaux dans la masse.

N° 13. — Échantillon terreux, brun jaune, partie en poussière, partie en fragments très scoriacés.

L'analyse a donné :

	ZINC	PLOMB	PERTE à la calcination
	p. 100	p. 100	p. 100
N° 1	42,03	»	34,17
2	35,69	»	35,26
3	38,44	»	32,87
4	5,83	»	33,43
5	47,52	»	37,22
6	39,07	»	33,86
7	39 70	»	32,18
8	36,96	»	33,22
9	3 15	»	31,32
10	49 00	»	35,36
11	»	75,00	»
12	9,2	52,9	»
13	6,12	»	29,71

2° ***Minerais de zinc.*** — Trois échantillons provenant du Bou-Thaleb, prélevés et remis par M. l'Ingénieur des Mines Dussert.

	N° 1	N° 2	N° 3
Résidu insoluble (silice et silicates)	24,6	26,5	26,3
Zinc (métal)	54,7	58,7	58.5
Oxygène combiné au zinc (calculé)	13,4	14,5	14,4
TOTAUX	92,7	99,7	99,2

Dans la willemite, qui est un orthosilicate de zinc anhydre, SiO^4Zn^2, il y a théoriquement 68,58 p. 100 de zinc métallique. D'après les résultats, cependant très sommaires, de cette analyse, il semblerait que le zinc existe bien à cet état de combinaison, au moins dans les échantillons 2 et 3.

3° ***Minerais de zinc.*** — Quinze échantillons de zinc provenant de Bou Kedma, commune mixte de Guergour, prélevés et remis par M. l'Ingénieur des Mines Dussert.

PROVENANCE des échantillons	DESCRIPTION SOMMAIRE DES ÉCHANTILLONS	ZINC p. 100	PLOMB p. 100
N° 1 Karouba, 2 échantillons passés au tamis.	(a) Roche scoriacée brun gris à texture cristalline. (b) Roche analogue à la précédente avec traînées noirâtres à texture cristalline et concrétions calcaires.	11,4	13,2
N° 2 Karouba (partie dolomitique), 2 échantillons passés au tamis.	(c) Echantillon scoriacé noirâtre analogue aux traînées à texture cristalline de l'échantillon (b). (d) Roche scoriacée, brun noirâtre avec assises blanches de calcaire cristallisé.	10,8	31,5
N° 3 Karouba-Lacrevasse (galerie haute), 2 échantillons passés au tamis.	(e) Echantillon concrétionné, légèrement feuilleté, gris jaunâtre. (f) Echantillon faiblement scoriacé de teinte terreuse jaune.	24,0	»
N° 4 Karouba (galerie basse), 2 échantillons passés au tamis.	(g) Assez analogue à (e). (h) Echantillon scoriacé de teinte ocreuse pâle.	34,9	»
N° 5 Galerie n° 1 sous Kef Bou Kedma, 2 échantillons passés au tamis.	(i) Echantillon brun noir scoriacé (j) Echantillon plus compact avec traînées.	40,9	»
N° 6 Galerie supérieure n° 3 sous Kef Bou Kedma, 4 échantillons passés au tamis.	(k) (l) Roches à pâte cristalline grise et parties scoriacées concrétionnées. (m) Roche jaune aspect gréseux (n) Roche gris rose —	17,3	»
N° 7 Tranchée antique n° 1, 2 échantillons passés au tamis.	(o) Roche scoriacée, gris rose. (p) Roche scoriacée avec parties brun rouge, rosées et jaunes.	47,0	»
N° 8 Crête Ouest n° 2, 2 échantillons passés au tamis.	(q) et (r) Roche scoriacée, gris rosé, avec parties grises à texture cristalline. (s) Roche assez analogue à (p).	44,2	»
N° 9 Crête Ouest n° 3, 3 échantillons passés au tamis.	(t) Roche brun rouge clair à texture cristalline avec croûte noire. (u) Roche scoriacée cristalline, gris faiblement violacé. (v) Echantillon blanc jaune, cristallin, ne faisant pas effervescence aux acides, avec parties très réduites faiblement scoriacées.	49,3	»

PROVENANCE des échantillons	DESCRIPTION SOMMAIRE DES ÉCHANTILLONS	ZINC p. 100	PLOMB p. 100
N° 10 Crête Ouest n° 5, 2 échantillons passés au tamis.	(*x*) Echantillon dur, scoriacé, violacé, légèrement feuilleté. (*y*) Echantillon jaune et brun jaune scoriacé, avec noyaux quartzeux blancs dans la masse.	31,9	»
N° 11 Versant Est.	(*z*) Roche rosée, très dense, à texture cristalline assez compacte avec croûte mince brune, scoriacée sur une face.	46,3	»
N° 12 Versant Est n° 2.	(α) Roche terreuse à teintes fondues, jaune clair, rosées, brunes et noirâtres, faiblement scoriacée, assez dense.	49,9	»
N° 13 El Maden. Tr. n° 1.	(β) Roche faiblement scoriacée à texture cristalline brun rouge.	24,9	»
N° 14 El Maden. Grande tranchée.	(γ) Roche terreuse scoriacée, brun rouge, avec parties cristallines de teinte plus claire dans la masse.	37,3	»
N° 15 El Maden. Affluent supérieur.	(δ) Roche grise à texture cristalline, faiblement scoriacée.	10,5	»

§ 2. — PHOSPHATES DE CHAUX.

1° *Roches phosphatées.* — Essai pour acide phosphorique de quinze échantillons provenant de Bordj R'dir, commune mixte des Maâdid, prélevés et remis par M. l'Ingénieur des Mines Dussert.

PROVENANCES	ACIDE phosphorique p. 100	SOIT : Phosphate tribasique de chaux p. 100
Echantillon n° 1, provenant de la tranchée n° 1. — Parcelle cadastrale n° 279	25,97	56,69
Echantillon n° 2, provenant de la tranchée n° 2. — Parcelle cadastrale n° 279	24,16	52,74
Echantillon n° 3, provenant de la tranchée n° 3. — Parcelle cadastrale n° 279	22,98	50,17
Echantillon n° 4, provenant de la tranchée n° 4. — Parcelle cadastrale n° 279	22,99	50,19

PROVENANCES	ACIDE phosphorique p. 100	SOIT : Phosphate tribasique de chaux p. 100
Echantillon n° 5, provenant de la tranchée n° 5. — Parcelle cadastrale n° 279	23,07	50,36
Echantillon n° 6, provenant du puits n° 1. — Parcelle cadastrale n° 280	28,05	61,23
Echantillon n° 7, provenant du puits n° 2. — Parcelle cadastrale n° 280	25,00	54,58
Echantillon n° 8, provenant de la tranchée n° 1. — Parcelle cadastrale n° 280	23,60	51,52
Echantillon n° 9, provenant de la tranchée n° 2. — Parcelle cadastrale n° 280	27,32	59,64
Echantillon n° 10, provenant de la tranchée n° 3. — Parcelle cadastrale n° 280	26,42	57,68
Echantillon n° 11, provenant de la tranchée n° 1. — Parcelle cadastrale n° 280 *bis*	23,43	51,15
Echantillon n° 12, provenant de la tranchée n° 3. — Parcelle cadastrale n° 280 *bis*	31,17	68,04
Echantillon n° 13, provenant de la tranchée n° 1. — Parcelle cadastrale n° 281, partie Nord	28,30	61,78
Echantillon n° 14, provenant de la tranchée n° 2. — Parcelle cadastrale n° 281 partie Nord	27,26	59,51
Echantillon n° 15, provenant de la tranchée n° 3. — Parcelle cadastrale n° 281	26,70	58,29

2° *Roches phosphatées.* — Analyse de six échantillons provenant de Bordj R'dir (diverses tranchées de la parcelle cadastrale n° 279), prélevés et remis par M. l'Ingénieur des Mines Dussert.

	1	2	3	4	5	6
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Silice	31,45	23,50	25,87	29,37	20,08	23,92
Perte à 110°	0,97	1,06	0,72	0,94	1,13	0,86
Perte au rouge après dessiccation	5,14	6,73	5,34	5,43	6,29	5,68
Acide phosphorique	22,08	23,47	24,15	22,11	25,25	24,43
Soit, en phosphate tribasique de chaux	48,20	51,23	52,72	48,27	55,12	53,3

V. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de M. SERGÈRE, Contrôleur des Mines (EXTRAIT).

PHOSPHATES DE CHAUX.

1° Échantillons provenant de la région de Tébessa, remis par M. l'Ingénieur des Mines de Constantine.

Provenances	Teneur en phosphate tribasique p. 100
Tunnel n° 1. — Chantier du fond, milieu	62,86
Dyr. Tunnel n° 2. — Galerie E de garage	69,85
— — toit	41,11
— Tunnel n° 1. — Chantier du fond du mur	62,15
Aïn Selbah. — Couche supérieure, banc supérieur, chantier 254	48,99
I'I. — Banc du toit	64,15
N'I. — Banc nord du mur	48,09
Dyr. Tunnel n° 2. — Galerie E de garage (Brillante)	53,27
PI. — Banc supérieur	47,59
FI. — Banc moyen	51,69
MI. — Banc moyen	48,37
FI. — Banc supérieur	47,49
Dyr. Tunnel. — Chantier du fond, toit	51,67
Société française. — Couche inférieure, chantier 109, banc inférieur	53,36
II. — Banc du mur	58,37
Société française. — Chantier 88, couche supérieure.	65,49
Société française. — Couche inférieure, chantier 109, banc supérieur	59,15
FI. — Banc du mur, plus noir, plus humide	58,67
L'I. — Banc moyen	63,79
Aïn Delba. — Couche supérieure, banc inférieur, chantier 7	53,08
Aïn Delba. — Couche supérieure, banc supérieur	42,47
H I	57,28
P'I. — Banc du mur	60,07
MI. — Banc du toit	61,47
Aïn Delba. — Couche inférieure, banc inférieur	54,48
Banc n° 2. Travaux Bouillon	13,40
Aïn Delba. — Couche inférieure, banc inférieur en bas, chantier 254	55,26
Travaux Bouillon, tas de phosphates	36,21
Travaux Bouillon n° 2, couche n° 1	52,53

Provenances	Teneur en phosphate tribasique p. 100
Dyr. Tunnel n° 2. — Galerie de garage, phosphate zoné	70,24
LI. — Banc du mur, échantillon pris dans le bas à l'entrée de la galerie	56,16
M	57,95
Couche n° 2. — Travail Bouillon	40,79
E'I. — Échantillon moyen, saignée sur l'épaisseur de la couche	56,44

2° Échantillons provenant de Canrobert, remis par M. Foulquier, Contrôleur des Mines.

Provenances	Teneur en phosphate tribasique p. 100
Cassure n° 1 du puits (pris sur toute la hauteur du puits)	78,37
Avancement Est, fond de taille	52,62
Cassure n° 1. — Affleurement	84,09
— n° 2. — —	76,55
— n° 2. — Moyen	74,32
— n° 3. — Affleurement	79,90

VI. — LABORATOIRE D'ORAN.

Travaux effectués par M. PONCELET, Sous-Ingénieur des Mines (Extrait).

MINERAIS MÉTALLIQUES.

1° *Minerais de cuivre*. — Dix échantillons provenant de Teniet el Hendjir, remis par M. Dussert, Ingénieur des Mines.

1. Grès imprégné de malachite et de chalcosine.
2. — Grès imprégné de chalcosine et de malachite.
3. — Grès imprégné de chalcosine avec malachite.
4. — Grès fortement imprégné de chalcosine avec peu de malachite.
5. — Mélange de carbonate vert et de carbonate bleu avec grains de chalcosine, cuprite, oxyde de fer et gangue argileuse.

6. — Grès imprégné de malachite.
7. — Grès imprégné de malachite et d'azurite.
8. — Grès argileux imprégné de malachite.
9. — Grès imprégné de malachite et de chalcosine.
10. — Grès imprégné de malachite avec filets schisteux.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cuivre p. 100..	15,24	12,33	32.95	36,33	57,29	4,76	8,10	4,56	36,74	3,82

2° *Minerai de cuivre.* — Échantillon provenant de Dj. Souiga, Teniet el Klak, région de Mékalis, déposé par M. de Tournemire à l'appui d'une demande de permis de recherches.

Grès imprégné de malachite, d'azurite et de cuivre sulfuré.

Cuivre p. 100............ 17,48

3° *Minerai de cuivre.* — Échantillon provenant d'Aïn Sefra, déposé par M. Dumas à l'appui d'une demande de permis de recherches.

Grès imprégné de carbonate vert.

Cuivre p. 100............. 2,38

4° *Minerai de cuivre.* — Échantillon provenant de Arabizen, tribu des Béni-Ouarsous, déposé par MM. Bertrandée et Cessenat à l'appui d'une demande de permis de recherches.

Chalcosine et malachite, gangue quartzeuse et ferrugineuse.

Cuivre p. 100........... 19,50

5° *Minerais de cuivre.* — Échantillons déposés par M. Bolouda, à Méchéria, à l'appui d'une demande de permis de recherches.

1. — Affleurement de Tazina. Carbonates vert et bleu, mouches de cuivre sulfuré et de cuprite, gangue quartzeuse et ferrugineuse.

2. — Affleurement Toudjin. Malachite et cuprite, gangue gréseuse et ferrugineuse.

	1	2
Cuivre p. 100.......	23,98	20,56

6° *Minerai de cuivre.* — Échantillon déposé par M. le Baron La Caze, demeurant à Paris, à l'appui d'une demande de permis de recherches.

Grès et schiste imprégnés de malachite.

Cuivre p. 100............ 4,86

7° *Minerais de cuivre.* — Échantillons déposés par M. Jules Charbonnier à l'appui de demandes de permis de recherches.

1. — Minerai de El Mederredj. Grès imprégné de malachite et d'oxyde de fer.

2. — Minerai des Ouled Namous. Grès imprégné de malachite.

	1	2
Cuivre p. 100.........	7,73	3,70

8° *Minerai de cuivre.* — Échantillon provenant de El Coudia, déposé par M[lle] Coste à l'appui d'une demande de permis de recherches.

Grès imprégné de malachite et moucheté de chalcosine.

Cuivre p. 100............ 15,70

9° *Minerai de cuivre.* — Échantillon déposé par M. Roux, Contrôleur des Mines, comme provenant de Oum Ed Debagh, recherches Eliet.

Chalcosine dans une roche éruptive imprégnée de malachite.

Cuivre p. 100............ 19,30

10° *Minerai de plomb.* — Échantillon de galène provenant du Djebel Grour, déposé par M. Charbonnier à l'appui d'une demande de permis de recherches.

On a dosé :

Plomb p. 100........................	60,80
Argent par tonne, plomb d'œuvre......	30 grammes

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DES

VENTILATEURS CENTRIFUGES

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES
DÉDUCTIONS TIRÉES DE CES RÉSULTATS

Par M. H. BOCHET, Inspecteur général des Mines en retraite.
Avec la collaboration de M. L. BOCHET, Ingénieur en Chef des Mines.

Le but de ce mémoire n'est pas de présenter une nouvelle théorie mécanique rationnelle des ventilateurs centrifuges, mais seulement de rendre compte de l'étude expérimentale que j'ai faite de l'un d'eux, et de présenter quelques considérations d'ordre général qui m'ont paru ressortir des résultats de cette étude.

Dans le courant de l'année 1886, un ventilateur centrifuge, du système Capell, alors inconnu en France quoiqu'il fonctionnât déjà en Angleterre avec succès, — ventilateur dont la disposition, dans ce qu'elle a d'essentiellement caractéristique, se voit dans la *fig.* 1 ci-contre et y paraît bizarre, — me fut signalé comme donnant un rendement dynamique utile (d'aspiration) extraordinaire, et même plus qu'extraordinaire, car ce rendement ressortait, d'expériences faites, comme non seulement très supérieur à ceux des meilleurs ventilateurs alors connus, mais comme paraissant devoir être déclaré d'emblée, sans plus ample examen, tout à fait paradoxal et inadmissible; en effet, il résultait de ces expériences que le

travail de l'air entrant dans l'ouïe de ce ventilateur pouvait devenir *supérieur* au travail de la force motrice actionnant l'appareil, et non pas de peu, mais de beaucoup, son rapport à ce travail moteur ayant été trouvé, en moyenne de plusieurs expériences faites dans certaines conditions de fonctionnement du ventilateur, égal à 1,30 et s'étant élevé, dans une de ces expériences, jusqu'à

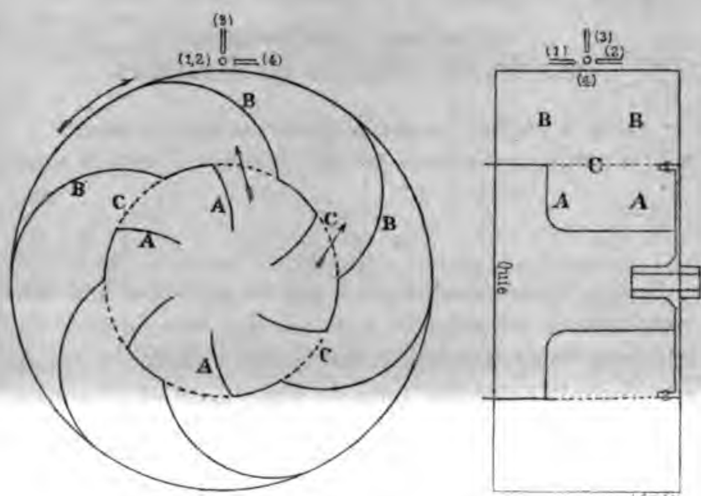


Fig. 1.

1,48 ! ces résultats ressortant de déterminations d'un ingénieur anglais sur deux ventilateurs de ce système, de dimensions différentes, et un rendement dynamique utile (d'aspiration) de 1,20 ayant été trouvé aussi par un jeune ingénieur français employé dans l'Ancien Établissement Cail ; résultats d'autant plus étonnants que le nouveau ventilateur était disposé au rebours des principes le plus récemment admis pour le meilleur fonctionnement d'un appareil de ce genre.

On voit en effet, à l'inspection de la figure de ce ven-

tilateur, que non seulement il est sans enveloppe et sans cheminée évasée, mais que ses ailettes, d'ailleurs brisées d'une façon bizarre, et en petit nombre, tournent de manière à chasser l'air par leurs faces convexes au lieu de le chasser par leurs faces concaves.

Demande m'ayant été faite d'expérimenter à mon tour un ventilateur de ce système, mis à ma disposition à cet effet, je m'en suis occupé volontiers, parce que ce ventilateur m'a paru curieux et intéressant, non seulement au point de vue de la pratique, mais aussi de la théorie scientifique.

Les expériences ont été faites dans l'Ancien Établissement Cail, à la demande de son directeur d'alors, M. le Colonel de Bange.

I. — PROCÉDÉS ADOPTÉS.

Principes. — Mon premier soin a été, naturellement, de chercher à éviter autant que possible toute cause d'inexactitude et même de simple incertitude.

Or il est d'usage d'adopter, pour la valeur du travail de l'air entrant dans un ventilateur, le produit du volume de cet air par sa *dépression*. Cette valeur, ainsi obtenue, serait en effet et incontestablement exacte, si la dépression de cet air — prise d'ailleurs là où elle est réellement seule *motrice*, à l'exclusion de toute autre cause coagissante pouvant, ou ayant pu, modifier le mouvement de l'air — était en même temps *constante* dans la section droite du conduit de l'air où elle remplit cette condition, indispensable, de l'exactitude de la formule. Mais il n'en est pas ainsi. Au contraire, la dépression de l'air doit être, et est en effet, *variable* d'un point à l'autre de cette section droite, puisque sa vitesse l'est, et l'on ne sait vraiment pas laquelle choisir, parmi les dépressions diverses qu'on y peut relever, pour, en la multipliant par le volume de

travail de l'air entrant dans l'ouïe de ce ventilateur pouvait devenir *supérieur* au travail de la force motrice actionnant l'appareil, et non pas de peu, mais de beaucoup, son rapport à ce travail moteur ayant été trouvé, en moyenne de plusieurs expériences faites dans certaines conditions de fonctionnement du ventilateur, égal à 1,30 et s'étant élevé, dans une de ces expériences, jusqu'à

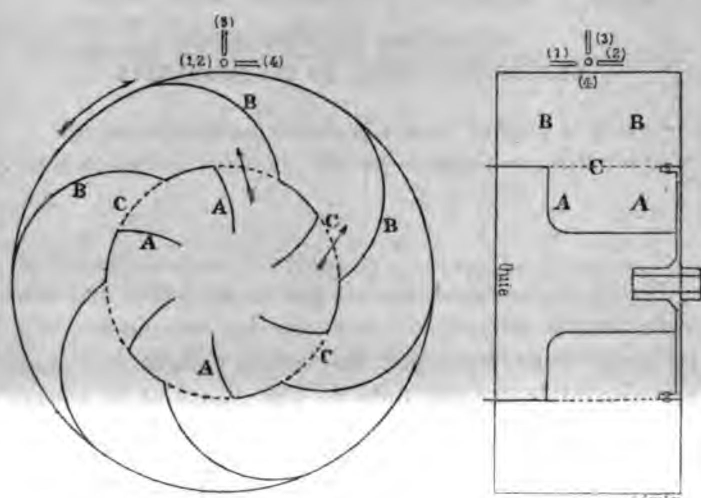


Fig. 1.

1,48 ! ces résultats ressortant de déterminations d'un ingénieur anglais sur deux ventilateurs de ce système, de dimensions différentes, et un rendement dynamique utile (d'aspiration) de 1,20 ayant été trouvé aussi par un jeune ingénieur français employé dans l'Ancien Établissement Cail ; résultats d'autant plus étonnants que le nouveau ventilateur était disposé au rebours des principes le plus récemment admis pour le meilleur fonctionnement d'un appareil de ce genre.

On voit en effet, à l'inspection de la figure de ce ven-

tilateur, que non seulement il est sans enveloppe et sans cheminée évasée, mais que ses ailettes, d'ailleurs brisées d'une façon bizarre, et en petit nombre, tournent de manière à chasser l'air par leurs faces convexes au lieu de le chasser par leurs faces concaves.

Demande m'ayant été faite d'expérimenter à mon tour un ventilateur de ce système, mis à ma disposition à cet effet, je m'en suis occupé volontiers, parce que ce ventilateur m'a paru curieux et intéressant, non seulement au point de vue de la pratique, mais aussi de la théorie scientifique.

Les expériences ont été faites dans l'Ancien Établissement Cail, à la demande de son directeur d'alors, M. le Colonel de Bange.

I. — PROCÉDÉS ADOPTÉS.

Principes. — Mon premier soin a été, naturellement, de chercher à éviter autant que possible toute cause d'inexactitude et même de simple incertitude.

Or il est d'usage d'adopter, pour la valeur du travail de l'air entrant dans un ventilateur, le produit du volume de cet air par sa *dépression*. Cette valeur, ainsi obtenue, serait en effet et incontestablement exacte, si la dépression de cet air — prise d'ailleurs là où elle est réellement seule *motrice*, à l'exclusion de toute autre cause coagissante pouvant, ou ayant pu, modifier le mouvement de l'air — était en même temps *constante* dans la section droite du conduit de l'air où elle remplit cette condition, indispensable, de l'exactitude de la formule. Mais il n'en est pas ainsi. Au contraire, la dépression de l'air doit être, et est en effet, *variable* d'un point à l'autre de cette section droite, puisque sa vitesse l'est, et l'on ne sait vraiment pas laquelle choisir, parmi les dépressions diverses qu'on y peut relever, pour, en la multipliant par le volume de

l'air aspiré, obtenir un résultat certainement exact. On admet bien, mais *sans preuve*, que ce doit être la dépression là où l'air peut être trouvé immobile dans un espace clos précédant le ventilateur (*) ; on peut aussi penser que ce doit être la moyenne des dépressions diverses dans la section droite du conduit d'amenée de l'air et que, d'ailleurs, l'une et l'autre de ces dépressions sont la même ; mais cela *n'est pas prouvé* non plus.

Quant à la vitesse longitudinale de l'air, de la mesure de laquelle on a l'habitude de déduire l'évaluation du volume d'air aspiré, il est connu qu'elle est variable d'un point à l'autre de la section droite ; mais les procédés généralement employés pour en apprécier la valeur moyenne sont loin de présenter une garantie suffisante.

Dans l'incertitude où je me suis donc trouvé sur les valeurs à adopter pour le volume et la dépression dans le calcul du travail exact de l'air entrant dans le ventilateur, j'ai considéré que ce travail total (pendant un temps quelconque) de l'air traversant une section droite (d'ailleurs quelconque) du conduit qui amène l'air au ventilateur est toujours l'*intégrale* du travail *élémentaire* (pendant le même temps) de chaque quantité (*infinitésimale*) d'air traversant cette section (pendant ce temps), lequel travail élémentaire est toujours le demi-produit de la masse élémentaire de cette quantité infinitésimale d'air par le carré de la vitesse (établie et ne variant pas pendant tout ce temps), vitesse qui peut être d'ailleurs, et qui est en effet parfois, plus ou moins oblique à la susdite section droite, faisant, avec la normale à cette section droite, un angle α variable avec la position de l'élément superficiel ds dans la section droite ; que, en désignant par w la vitesse absolue de l'air traversant cet élément et par v sa vitesse suivant la susdite normale (de sorte qu'on a $v = w \cdot \cos \alpha$),

(*) Est-il d'ailleurs certain *a priori* que la dépression soit la même en tout point où il en est ainsi ?

par δ sa densité et par g l'intensité de la pesanteur (de sorte que, le volume de cet air étant $v \, . \, ds$ et son poids $\delta \, . \, v \, . \, ds$, sa masse est $\frac{\delta \, . \, v \, . \, ds}{g}$), on a toujours, pour son travail pendant l'unité de temps, $\frac{1}{2} \, . \, w^2 . \frac{\delta}{g} \, . \, v \, . \, ds$: que $\frac{\delta \, . \, w^2}{2g}$ est égal à sa dépression ∂ dans l'élément superficiel ds, mais *uniquement quand elle y est seule productrice de la vitesse de l'air*, sans que cette vitesse ait pu être modifiée par l'action simultanée d'une autre cause quelconque ; — qu'alors, mais *alors seulement*, le travail élémentaire de l'air traversant l'élément superficiel ds est égal au produit du volume élémentaire ($v \, . \, ds$) de cet air par sa dépression locale dans cet élément superficiel, et que le travail total T de l'air traversant toute la section droite pendant l'unité de temps, dans cette même condition de *dépression seule motrice dans toute la section droite*, est $T = \int \partial \, . \, v \, . \, ds$: enfin que cette condition n'est certainement remplie qu'à l'entrée même — soit dans le ventilateur directement, soit dans le conduit qui le précède, — de l'air pris *immobile* dans l'atmosphère libre et tranquille.

Considérant d'ailleurs que tout devait se passer, à l'entrée de cet ajutage, symétriquement autour de son axe, et que, par conséquent, on pouvait prendre pour ds l'anneau infinitésimal $2\pi r \, . \, dr$ (r en étant le rayon), de sorte qu'on avait :

$$T = 2\pi \int_0^R \partial_r \, . \, v_r \, . \, rdr$$

(R étant le rayon de l'ajutage et de l'ouïe), j'ai cherché à déterminer, le plus exactement que j'ai pu, ∂_r et v_r en un nombre de points différents, suffisant pour pouvoir en

déduire avec assez de précision la valeur de

$$\int_0^R \partial_r \,.\, v_r \,.\, rdr.$$

Dépressions locales. — Pour ∂_r, sa valeur en un point quelconque, dans une expérience quelconque, peut être déterminée au moyen du manomètre. Mais il faut, pour que le manomètre indique exactement la dépression en un point d'un fluide en mouvement, que sa section d'ouverture dans ce fluide soit exactement parallèle à la vitesse absolue (w_r) du fluide en ce point ; sinon, son indication est, ou plus faible, ou plus forte, que la dépression, suivant que cette vitesse absolue fait un angle aigu ou obtus avec la normale à la section d'ouverture du tube du manomètre, cette normale étant prise en dehors du tube.

C'est donc là une difficulté pour l'emploi du manomètre à la mesure exacte de la dépression en un point d'un fluide en mouvement. Mais, suivant que le susdit angle est aigu ou obtus, on doit avoir, en désignant par h_r et H_r les dénivellations correspondantes qui se produisent entre les deux surfaces du liquide dans le manomètre,

$$\left.\begin{array}{l} h_r = \partial_r - \\ H_r = \partial_r + \end{array}\right\} \frac{\delta_r u_r^2}{2g},$$

u_r étant la vitesse du fluide en mouvement suivant la normale à la section d'ouverture du tube du manomètre, et δ_r sa densité. De sorte que, *si un filet fluide, de direction quelconque, passe entre les deux sections d'ouverture, parallèles entre elles, de deux tubes de manomètres directement opposés l'un à l'autre, la demi-somme des deux dénivellations des manomètres donne la dépression du filet fluide (ou sa surpression)*, car le théorème est également vrai dans les deux cas.

Il faut cependant, pour que cela soit *pratiquement* vrai,

que la direction du filet fluide ne s'éloigne pas trop du parallélisme avec les deux surfaces d'ouverture, parallèles entre elles, des deux tubes de manomètres; mais, dans tous les cas, les grandeurs relatives des deux dénivellations indiquent sûrement le sens de l'inclinaison du filet fluide sur la normale aux deux surfaces, à son passage entre elles.

On peut donc toujours, avec deux manomètres à tubes directement opposés l'un à l'autre, d'ailleurs de diamètres suffisamment petits, et à sections d'ouverture exactement parallèles entre elles et suffisamment rapprochées l'une de l'autre, sans pourtant l'être trop, obtenir très simplement, et avec assez d'exactitude (tant que les deux dénivellations ne diffèrent pas trop l'une de l'autre), la dépression (ou la surpression) d'un filet fluide quelconque à son passage entre leurs deux sections d'ouverture; et il convient, pour l'obtenir ainsi très exactement, ou, au moins, à très peu près et autant que possible, en particulier à l'entrée du fluide dans un ajutage cylindrique posé devant l'ouïe d'un ventilateur, de disposer les deux tubes de manière que leurs sections d'ouverture, parallèles entre elles, soient parallèles à l'axe longitudinal du cylindre-ajutage et en même temps au rayon de sa section droite, c'est-à-dire au plan méridien local du cylindre-ajutage ; ce que j'ai fait.

Vitesses longitudinales. — Quant à v_r, pour le déterminer, je ne pouvais espérer y parvenir d'une manière suffisamment satisfaisante avec un anémomètre, parce que : 1° aucun ne donne cette vitesse en un seul point, et 2° aucun ne pouvait la donner à la périphérie de l'ajutage ni tout près de cette périphérie, non plus à son centre ni tout près de ce centre. Mais il suffit, pour pouvoir obtenir une valeur locale quelconque de v, de placer au point voulu, un peu au delà des sections d'ouverture des

deux tubes de manomètres précédents (assez pour ne pas gêner sensiblement le mouvement du filet fluide, assez peu pour ne pas trop s'éloigner du point voulu), la section d'ouverture d'un troisième tube de manomètre, perpendiculairement à la direction de l'axe longitudinal du cylindre-ajutage (le tube allant d'abord, dans l'ajutage, un peu vers l'ouïe du ventilateur, et se retournant ensuite pour sortir de l'ajutage par sa périphérie et aller extérieurement jusqu'au manomètre correspondant, ainsi d'ailleurs que les deux tubes précédents). En effet, comme alors on aura, pour le troisième manomètre :

$$h'_r = \partial_r - \frac{\delta_r v_r^2}{2g}, \qquad \text{on en déduit} \qquad v_r = \sqrt{\frac{2g}{\delta_r}(\partial_r - h'_r)}.$$

Travail de l'air. — Dès lors, l'expression du travail (T) du fluide entrant dans la section circulaire d'orifice de l'ajutage cylindrique devient :

$$T = 2\pi \int_0^R r \cdot \frac{h_r + H_r}{2} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\delta_r} \cdot \left(\frac{h_r + H_r}{2} - h'_r\right)} \cdot dr.$$

Toutes les quantités constituant cette expression, sauf seulement encore δ_r, sont, les unes connues, les autres facilement déterminables, en autant de points que l'on veut, par simples lectures sur les trois manomètres que j'ai dits.

Influence de la densité du fluide. — Quant à δ_r, il est certain que, rigoureusement parlant, il doit, pour un fluide qui n'est pas incompressible, varier aussi avec r, en même temps que ∂_r ; mais on sait, et la suite de ce mémoire confirmera, que ses variations dans l'intérieur d'un ventilateur sont d'un ordre qui les rend pratiquement négligeables, et qu'il vaut mieux dès lors l'y considérer comme invariable dans tout le ventilateur et admettre simplement sa valeur en chaque point comme résultant

seulement de la nature, de la pression et de la température extérieures du fluide aspiré, plutôt que d'introduire dans les formules une complication inutile pour la pratique, ses variations dans le ventilateur ne donnant que des différences insignifiantes, inférieures aux erreurs (inévitables) d'observation.

Si pourtant on voulait tenir compte des variations de δ_r dans le ventilateur, il faudrait avoir égard à deux circonstances qui y modifient sa valeur quand le fluide aspiré est compressible et qui sont : 1° la diminution de pression du fluide, qui, — en désignant par p sa pression barométrique (en millimètres de mercure) dans l'espace précédant le ventilateur, là où le gaz, encore immobile, a une pression uniforme, — est devenue (en millimètres d'eau) $13,6 . p - \partial_r$; 2° la diminution de sa température en raison de sa dilatation, diminution d'ailleurs moindre que s'il n'absorbait pas plus ou moins de la chaleur ambiante. Si sa température demeurait constante, sa seule caloricité augmentant par absorption plus considérable de chaleur ambiante, sa densité en chaque point — en désignant par δ sa densité (en kilogrammes par mètre cube) dans l'espace où il est encore immobile — serait :

$$\delta_r = \delta \cdot \frac{13,6 \,.\, p - \partial_r}{13,6 \,.\, p} = \delta \left(1 - \frac{\partial_r}{13,6 \,.\, p}\right).$$

Si, au contraire, sa caloricité restait constante, sa température seule diminuant (c'est-à-dire s'il n'absorbait pas de chaleur ambiante), sa densité en chaque point [d'après ce qui est dit à ce sujet dans le *Cours des machines* professé à l'École des Mines de Paris par Callon] (Dunod, éditeur, 1873, tome Ier, au bas de la page 304) serait, conformément à la loi de Laplace,

$$\delta_r = \delta \cdot \left(\frac{13,6 \,.\, p - \partial_r}{13,6 \,.\, p}\right)^{0,71} = \delta \left(1 - \frac{\partial_r}{13,6 \,.\, p}\right)^{0,71}.$$

La réalité est entre les deux, sans qu'on puisse dire exactement où. On doit donc, pour en approcher le plus possible, admettre pour la densité du fluide en chaque point dans le ventilateur :

$$\delta_r = \delta \cdot \frac{1}{2}\left[\left(1 - \frac{\partial_r}{13,6 \,.\, p}\right) + \left(1 - \frac{\partial_r}{13,6 \,.\, p}\right)^{0,71}\right].$$

Or les plus grandes valeurs de $\frac{\partial_r}{13,6p}$, dans les plus forts ventilateurs employés jusqu'à présent, ne dépassent point 0,02 ; par conséquent la densité du fluide y entrant ne s'abaisse pas de plus de 1,5 p. 100 au maximum.

Dans mes expériences, elle ne s'est jamais abaissée de plus de 1 p. 100, $\frac{\partial_r}{13,6 . p}$ n'y ayant point dépassé 0,01 aux plus fortes vitesses de rotation que j'aie pu y réaliser ; et, aux plus faibles, ce rapport n'ayant été que de 0,002, la densité de l'air ne s'est pas abaissée de plus de 0,2 p. 100 ; par conséquent, en moyenne, elle ne s'est abaissée que de 0,6 p. 100 avec écart maximum de 0,4 p. 100.

On voit donc que sa variation a été, dans mes expériences, et est toujours bien réellement négligeable pratiquement, et qu'en négligeant la petite dilatation qui se produit dans un ventilateur on ne peut, d'ailleurs, qu'obtenir pour le travail de l'air des valeurs un peu trop faibles, plutôt qu'un peu trop fortes, mais d'une quantité toujours négligeable pratiquement.

Formules définitives. — On peut donc, en conservant une très grande approximation, très suffisante pour la pratique, admettre δ égal partout à la densité du fluide aspiré, tel qu'il est en dehors du ventilateur, dans les formules suivantes :

1° Pour la dépression en un point quelconque de l'ajutage :

$$\delta_r = \frac{1}{2}(h_r + H_r).$$

2° Pour la dépression moyenne dans une section droite quelconque de l'ajutage :

$$\delta_{mS} = \frac{\int_0^R \delta_r \,.\, 2\pi r \,.\, dr}{\pi R^2} = \frac{2}{R^2}\int_0^R \delta_r r \,.\, dr.$$

On pourrait considérer aussi comme dépression moyenne, — au lieu de la moyenne des dépressions dans les surfaces élémentaires de la section droite traversée, comme je viens de le faire, la moyenne des dépressions dans les volumes d'air élémentaires traversant cette section pendant l'unité de temps. Alors on aurait pour son expression :

$$\delta_{mV} = \frac{\int_0^R \delta_r \,.\, v_r \,.\, 2\pi r.dr}{\int_0^R v_r \,.\, 2\pi r \,.\, dr},$$

fraction dont le numérateur est l'expression du travail total, pendant l'unité de temps, de l'air aspiré pendant ce même temps, au moins dans la section droite d'entrée de l'ajutage, et dont le dénominateur est l'expression du volume total de l'air aspiré pendant cette même unité de temps. Et c'est alors, mais *alors seulement*, qu'on pourrait dire que le travail total de l'air traversant la section droite d'entrée de l'ajutage est le produit du volume d'air traversant cette section par la dépression moyenne *dans ce volume d'air* δ_{mV}, produit qui n'est évidemment pas identique à celui de ce volume d'air par la dépression moyenne dans la section droite δ_{mS},

et ne peut, en conséquence, lui être égal qu'*exceptionnellement ;* de sorte que le produit par cette dernière dépression moyenne ∂_{ms} ne peut qu'*exceptionnellement* donner avec exactitude le travail de cet air, et que c'est seulement le produit de ce volume d'air par la dépression moyenne ∂_{mv} qui le peut donner ainsi *toujours*. Mais cela n'avance à rien et ne peut servir à simplifier le calcul du travail total de l'air traversant la section droite d'entrée de l'ajutage ; car, pour connaître la dépression moyenne ∂_{mv}, afin de s'en servir pour ce calcul, il faudrait commencer par calculer le numérateur de son expression ci-dessus, c'est-à-dire précisément l'intégrale représentative de ce travail total. Il n'en est pas moins vrai que c'est là précisément, de par sa formule même, la *vraie dépression moyenne* que *seule* on est réellement en droit d'appeler la *dépression motrice* produite par le ventilateur, mais dont la détermination exacte, par calcul, est la plus compliquée, puisqu'elle exige d'abord celle du travail total lui-même de l'air aspiré par l'ouïe du ventilateur, et, en outre, celle du volume de cet air.

3° Pour la vitesse longitudinale du fluide en un point quelconque de l'intérieur de l'ajutage :

$$v_r = \sqrt{\frac{2g}{\delta}} \cdot \sqrt{\partial_r - h_r'} = 1,4 \sqrt{\frac{g}{\delta}} \cdot \sqrt{\partial_r - h_r'}.$$

4° Pour sa vitesse longitudinale moyenne dans une section droite quelconque de l'ajutage :

$$v_{ms} = \frac{\int_0^R v_r \cdot 2\pi r \cdot dr}{\pi \cdot R^2} = \frac{2,8}{R^2} \sqrt{\frac{g}{\delta}} \cdot \int_0^R r \cdot \sqrt{\partial_r - h_r'} \cdot dr.$$

On pourrait aussi considérer comme autre vitesse longitudinale moyenne, au lieu de la moyenne des vitesses dans les surfaces élémentaires de la section traversée,

comme je viens de le faire, la moyenne des vitesses longitudinales dans les volumes d'air élémentaires traversant cette section moyenne, dont l'expression serait :

$$v_{m}v = \frac{\int_0^R v_r^2 . 2\pi r . dr}{\int_0^R v_r . 2\pi r . dr} = \frac{\int_0^R r . v_r^2 . dr}{\int_0^R r . v_r . dr} = 1,4\sqrt{\frac{g}{\delta}} . \frac{\int_0^R r . (\partial_r - h_r') . dr}{\int_0^R r . \sqrt{\partial_r - h_r'} . dr};$$

mais la considération de cette autre vitesse longitudinale moyenne ne paraît pas avoir de possibilité d'application et par conséquent d'utilité,

5° Pour le volume du fluide entrant, par unité de temps, dans l'ajutage, et par suite dans le ventilateur, par son ouïe :

$$V = \int_0^R v_r . 2\pi r . dr = 8,8 \sqrt{\frac{g}{\delta}} \int_0^R r . \sqrt{\partial_r - h_r'} . dr.$$

6° Enfin, pour le travail, pendant l'unité de temps, du fluide entrant dans l'ajutage :

$$T = \int_0^R \partial_r . v_r . 2\pi r . dr = 8,8 \sqrt{\frac{g}{\delta}} \int_0^R \partial_r \sqrt{\partial_r - h_r'} . r . dr.$$

Les quantités à déterminer pour obtenir, au moyen de ces expressions, non seulement T, mais encore V, ainsi que les vitesses longitudinales, locales et moyennes, du fluide aspiré, avec ses dépressions, sont, — en outre de g (dont la valeur ne varie qu'avec la localité) et de δ, dont la valeur à introduire dans les expressions dépend de la nature du fluide aspiré, de sa température et de sa pression, — les dénivellations manométriques h, H et h' en un nombre de points suffisant pour pouvoir tracer, au moins avec assez d'exactitude, les courbes représentatives des

fonctions de r qui sont sous le signe $\int_0^R$, et mesurer — géométriquement, avec une approximation suffisante — les surfaces qu'elles déterminent et dont les grandeurs donnent les valeurs de $\int_0^R$ (ce qui peut toujours être fait avec le planimètre, ou, à défaut, par décomposition en trapèzes suffisamment petits), de manière à établir ainsi les valeurs des quantités utiles à connaître, dans le plus grand nombre possible de circonstances diverses du fonctionnement du ventilateur.

Dispositif de l'expérimentation. — En conséquence, j'ai disposé mon expérimentation de la manière suivante.

Après avoir fait placer le ventilateur qui a été mis à ma disposition et dont les dimensions étaient :

Diamètre de la turbine (D)..........	$0^m,915$
Largeur de la turbine (L)............	$0^m,310$
Diamètre de l'ouïe (2R)..............	$0^m,500$

avec un court ajutage cylindrique, de même diamètre que cette ouïe, en tôle lisse, que j'y ai fait adapter à joint hermétique (pour pouvoir y fixer les instruments de mesure de δ et de v), le tout sur un bâti solide, au-dessus d'une fosse, de manière que la sortie de l'air par la périphérie de la turbine (qui était sans enveloppe) se fît librement tout autour, — j'ai fait placer, dans la section droite d'entrée de l'ajutage, au centre, à la périphérie, à la moitié, au quart et aux trois quarts de la longueur du rayon de sa section droite (*), de la manière que j'ai indiquée ci-dessus, les extrémités de trois tubes de manomètres (en

(*) Plus tard, pour compléter, par des renseignements complémentaires qui m'ont paru nécessaires, les indications obtenues aux points précédents, j'ai opéré de même pour des points à 20 et à 40 millimètres de la périphérie.

cuivre, de 5 millimètres de diamètre), dont deux directement opposés l'un à l'autre, de façon que leurs sections d'ouverture fussent toutes deux parallèles au plan méridien local de l'ajutage, pour la détermination de la dépression locale δ_r au moyen de $\frac{1}{2}(h_r + H_r)$, $\frac{1}{2} h_r$ et $\frac{1}{2} H_r$ se lisant directement sur chacun des deux manomètres muni d'une échelle divisée en millimètres, placée entre les deux branches de son tube en U, échelle dont le 0 était au droit de la position d'équilibre dans laquelle se trouvaient les deux surfaces de l'eau quand elles étaient de niveau ; et le troisième tube de manomètre de façon que sa section d'ouverture fût perpendiculaire à la direction de l'axe longitudinal du cylindre-ajutage et reçût directement et sans déviation notable l'action du filet d'air entrant, pour donner le h_r' qui figure dans les formules posées cidessus et qui était le double du nombre de millimètres lu sur l'échelle du manomètre correspondant.

D'ailleurs, pour qu'il n'y eût pas en même temps trop de tubes dans l'intérieur de l'ajutage, ce qui aurait pu altérer notablement l'allure naturelle de l'air entrant dans cet ajutage, j'ai divisé les expériences en trois séries : dans l'une, j'ai expérimenté au centre, à la périphérie et à la moitié du rayon ; dans l'autre, à son quart et à ses trois quarts ; dans l'autre encore, à 20 et à 40 millimètres de la périphérie ; en disposant, chaque fois, les groupes de trois tubes de manière qu'ils n'altérassent que le moins possible l'allure naturelle de l'air. Ces tubes, à leur traversée de la tôle formant la périphérie de l'ajutage, y étaient fixés à douille et virole, puis allaient, en dehors, jusqu'à leurs manomètres (à eau et en verre), tous fixés sur planche, en tableau, avec leurs tubes en U bien verticaux.

Quand une vitesse de rotation du ventilateur était indiquée (par un tachymètre) comme bien établie et se

maintenant, une personne lisait et énonçait successivement les indications des différents manomètres en action, et une autre personne les inscrivait au fur et à mesure sur une feuille à colonnes préparée d'avance à cet effet. Les indications ainsi relevées sur chaque manomètre en donnaient les demi-dénivellations ; deux d'entre elles, pour chaque point, n'avaient donc besoin que d'être additionnées pour fournir la dépression au point correspondant ; la troisième devait être doublée pour fournir la valeur de h' au même point.

En même temps, une troisième personne faisait se tracer (par un dynamomètre de rotation, à ressort bien réglé, de l'Établissement Cail) le diagramme de l'effort moteur qui s'exerçait *sur l'arbre du ventilateur*, et une quatrième personne déterminait la vraie vitesse de rotation (que le tachymètre pouvait ne pas indiquer bien exactement) au moyen d'un compteur de tours à pointe de pyramide quadrangulaire tenue enfoncée dans un trou pratiqué sur l'axe de l'arbre du ventilateur, pendant une minute observée avec une montre à secondes sous les yeux.

Enfin la température et la pression barométrique de l'air ambiant, immobile dans un vaste atelier, étaient notées. La température n'ayant varié, pendant la durée de mes expériences, qu'entre 13 et 29°, et la pression barométrique entre 752 et 770 millimètres de mercure, l'air normal de l'atelier étant d'ailleurs resté constamment sec, sa densité (δ) n'a pu varier qu'entre 1,173 et 1,243 kilogramme par mètre cube, d'après la formule tirée des lois de Mariotte et de Gay-Lussac :

$$\delta = \delta_0 \frac{p}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} = \delta_0 \frac{0,36 p}{273 + t},$$

qui, pour l'air normal sec, dont le $\delta_0 = 1^{kg},29$, donne :

$$\delta = \frac{0,4644 \cdot p}{273 + t},$$

par conséquent est restée voisine de la moyenne 1,21 (à moins de 3 p. 100 près); et, par suite, $\sqrt{\frac{q}{\delta}}$ n'a pu varier qu'entre 2,94 et 2,83, par conséquent est resté voisin de la moyenne 2,885 (à moins de 2 p. 100 près).

Un très grand nombre d'observations ont été faites comme je viens de le dire, à différentes vitesses de rotation du ventilateur, et non seulement avec l'ajutage cylindrique de même diamètre que l'ouïe, mais aussi (pour réaliser les cas de plusieurs orifices équivalents d'entrée de l'air devant l'ouïe) en emboîtant, d'abord, dans l'entrée de l'ajutage cylindrique, un premier ajutage supplémentaire tronconique, puis, dans celui-ci, un second également tronconique, et ainsi de suite plusieurs autres, d'ouvertures décroissantes jusqu'à 0, tous les joints bien soignés, le dispositif des expériences et le mode d'expérimentation restant d'ailleurs les mêmes qu'avec le seul ajutage cylindrique.

Les résistances spéciales au mouvement de l'air dans l'intérieur de pareils ajutages, en tôle lisse, de faible longueur, ne pouvant certainement être que négligeables, on pouvait bien considérer les orifices d'entrée de ces ajutages comme étant, au moins à très peu près, les orifices équivalents à prendre en considération.

Étude complémentaire des conditions dans lesquelles l'air est sorti du ventilateur. — J'ai voulu aussi me rendre compte des conditions dans lesquelles l'air est sorti du ventilateur.

Tout devait s'y passer de la même manière sur chaque génératrice de la périphérie cylindrique de sa turbine occupant la même place dans chaque intervalle séparant les extrémités de deux ailettes consécutives. Alors, en désignant par :

D, le diamètre de cette périphérie cylindrique,

L, sa largeur ;

v_l, la projection de la vitesse de sortie de l'air sur le prolongement du rayon de la turbine (normal à cette surface périphérique) en un point situé à la distance l de l'une des deux joues du ventilateur, sur la génératrice, vitesse qui peut en effet varier, et varie effectivement, d'un point à l'autre de la largeur L (en outre, cette vitesse peut, et doit même, varier aussi d'un point à l'autre de l'arc de circonférence parallèle aux joues compris entre les extrémités de deux ailettes consécutives ; et cela non seulement dans l'air venant de l'intérieur du ventilateur, mais aussi dans de l'air entrant par sa périphérie même, pour pénétrer plus ou moins loin dans son intérieur et, après s'y être retourné, en ressortir par la périphérie avec celui entré par ailleurs (comme il est arrivé en effet, ainsi qu'on le verra plus loin) ; de sorte qu'il peut y avoir, sur la longueur de l'arc, non seulement différentes vitesses de sortie positives, mais aussi des négatives. Je n'ai trouvé possible d'obtenir qu'une moyenne générale (pour le même arc et, par suite, pour la même circonférence entière, parallèle aux joues) de leurs projections sur les normales à la surface cylindrique de la périphérie du ventilateur, moyenne générale que représente v_l,

le volume de fluide rejeté, pendant l'unité de temps, par la périphérie de la turbine du ventilateur, après y être entré par ailleurs, est :

$$V_s = \pi D \int_0^{L} v_l \, . \, dl.$$

Le volume de fluide qui a pu entrer dans le ventilateur en même temps qu'il en sortait, en volume égal, par la périphérie de sa turbine, annule ainsi, par les valeurs négatives de v_l correspondant à son entrée, celles positives correspondant à sa sortie, de sorte que l'expression

précédente de V_s ne représente que le volume d'air sortant après être entré par ailleurs que par la périphérie de la turbine, et non le volume total sortant par cette périphérie.

Quant à son travail, on ne peut plus dire qu'en chaque point son élément lui-même soit le produit du volume élémentaire de fluide sortant par sa dépression en ce point, ni par sa surpression, s'il y était en surpression, comme on comprendrait qu'il y pût être, au moins par places, en même temps qu'il pourrait être en dépression sur d'autres points ; car son état de pression n'y est plus la cause unique, ni même principale, de son mouvement ; mais on peut toujours dire que cet élément de travail du fluide rejeté est le demi-produit de sa masse par le carré de sa vitesse ; et par conséquent, en désignant par :

w_l, la vitesse absolue de sortie du fluide au point situé à la distance l de l'une des deux joues du ventilateur, ou, plus exactement, la moyenne des diverses valeurs de cette vitesse absolue le long de l'arc susdit;

δ, son poids par mètre cube, qui ne diffère pas plus, et même encore moins (on le verra plus loin), de celui du même fluide extérieurement au ventilateur, qu'il n'en diffère à son entrée par l'ouïe,

on peut dire que le travail total du fluide, à sa sortie par la périphérie de la turbine de l'appareil, est, au moins avec la plus grande approximation qu'il m'ait été possible d'obtenir :

$$T_s = \frac{\pi \cdot D \cdot \delta}{2g} \int_0^{L} v_l \cdot w_l^2 \cdot dl.$$

v_l peut être déterminé, comme v_r à l'entrée, au moyen de trois manomètres, disposés, aussi près que possible de la périphérie de la turbine du ventilateur, de la même manière que l'ont été les autres, à l'entrée de l'ajutage

cylindrique adapté à l'ouïe, c'est-à-dire deux ayant la section droite d'ouverture de leur tube parallèle au prolongement du rayon de la turbine, et leurs tubes, au début, parallèles à l'axe de rotation et directement opposés l'un à l'autre, pour donner la dépression (ou la surpression) du filet d'air, qui s'est d'ailleurs manifesté partout et toujours, dans mes expériences, en dépression (∂), égale à $\frac{1}{2}(h+\mathrm{H})$; le troisième manomètre ayant la section droite d'ouverture de son tube perpendiculaire au prolongement du rayon de la turbine et son tube (au début) suivant ce prolongement de rayon. Ce troisième manomètre a également, toujours et partout, dans mes expériences, marqué en dépression h', égale à $\partial - \frac{\delta . v^2}{2g}$; de sorte que

$$v_l = \sqrt{\frac{2g}{\delta}(\partial - h')_l},$$

comme v_r à l'entrée.

Mais, pour déterminer w_l, qui pouvait avoir une direction quelconque, il m'a fallu employer un quatrième manomètre, dont la section droite d'ouverture du tube fût perpendiculaire à la fois aux trois autres et le tube (au début) également perpendiculaire au plan des axes des trois autres tubes, suivant la tangente de la circonférence de rotation, dans le sens de cette rotation. Ce quatrième manomètre a, dans mes expériences, toujours et partout, marqué en surpression ; de sorte que, en appelant h'' sa dénivellation et α'' l'angle de u avec l'axe de son tube (à partir de son ouverture), α et α' étant les angles de u avec les axes des autres tubes (à partir de leur ouverture), on avait :

$$h'' = \frac{\delta}{2g}(u . \cos \alpha'')^2 - \partial, \qquad \text{d'où} \qquad u^2 . \cos^2 \alpha'' = \frac{2g}{\delta}(h'' + \partial),$$

en même temps que

$$h' = \partial - \frac{\delta}{2g}(w \,.\, \cos\alpha')^2, \quad \text{d'où} \quad w^2 \,.\, \cos^2\alpha' = \frac{2g}{\delta}(\partial - h'),$$

et

$$\left.\begin{array}{l} h = \partial - \dfrac{\delta}{2g}(w \,.\, \cos\alpha)^2 \\ H = \partial + \dfrac{\delta}{2g}(w \,.\, \cos\alpha)^2 \end{array}\right\} \text{d'où } w^2 \,.\, \cos^2\alpha = \frac{2g}{\delta}\left\{\begin{array}{c} (\partial - h) \\ \text{ou} \\ (H - \partial) \end{array}\right.$$

et, par addition membre à membre,

$$w^2 = \frac{2g}{\delta} \times \left\{\begin{array}{c} (3\partial - h - h' + h'') \\ \text{ou} \\ (\partial + H - h' + h'') \end{array}\right\} = \frac{2g}{\delta}\left[\frac{h+H}{2} - h' + h'' + H\right].$$

On peut même en déduire, en outre, si l'on veut,

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{\partial - h}{3\partial - h - h' + h''}}, \quad \cos\alpha' = \sqrt{\frac{\partial - h'}{3\partial - h - h' + h''}},$$

$$\cos\alpha'' = \sqrt{\frac{\partial + h''}{3\partial - h - h' + h''}}.$$

On peut donc écrire, finalement :

$$V_s = \pi D \sqrt{\frac{2g}{\delta}} \int_0^L \sqrt{\left(\frac{h+H}{2} - h'\right)_l} \cdot dl$$

et :

$$T_s = \pi D \sqrt{\frac{2g}{\delta}} \int_0^L \sqrt{\left(\frac{h+H}{2} - h'\right)_l} \cdot \left(\frac{h+H}{2} - h' + h'' + H\right)_l \cdot dl.$$

En conséquence, pour déterminer les éléments caractéristiques de fonctionnement du ventilateur à la périphérie de sa turbine, j'ai fait placer, — en trois points de la largeur de cette périphérie, l'un au milieu, l'autre près de l'une de ses joues, le troisième près de l'autre joue, et, en chacun de ces trois points, de la manière que j'ai dite ci-dessus — les ouvertures de quatre tubes de

manomètre, fixés dans le bâti immobile du ventilateur, avec les précautions nécessaires pour obtenir les éléments des déterminations utiles le plus exactement possible, sans altérations notables, et ces éléments, c'est-à-dire les indications de tous les manomètres, dans chacune des nombreuses expériences faites à différentes vitesses de rotation du ventilateur, ont été relevés, en même temps que ceux relatifs à l'entrée de l'air par l'ouïe, comme je l'ai dit ci-dessus.

Les indications de tous les différents instruments de mesure que j'ai employés ayant été relevées ainsi et utilisées comme je l'ai dit également, j'en ai tiré, au moyen des formules que je viens de donner, les valeurs, dans chaque expérience, de toutes les quantités dont j'ai eu besoin, valeurs que j'ai toujours encore représentées graphiquement.

Détermination définitive des résultats. — En groupant ensemble, séparément, les résultats correspondant à un même orifice d'admission de l'air devant l'ouïe et, parmi eux, ceux correspondant à une même densité de l'air aspiré, — par l'effet ordinaire et naturel du grand nombre des observations faites, effet correcteur des petits écarts de chacune d'elles considérée isolément et permettant de tracer, entre les points qui leur correspondaient séparément, leurs courbes représentatives, en prenant, là où la convenance et même la nécessité s'en imposaient évidemment, une moyenne rationnelle entre un certain nombre de résultats et rejetant d'ailleurs, sans en tenir compte, quelques observations évidemment entachées d'erreur trop forte, soit de lecture, soit de transcription, en raison d'écarts trop considérables de certains résultats, tirés des feuilles d'observations, par rapport à l'ensemble des autres, — j'ai pu arriver avec une exactitude, ou au moins avec une approximation, que je crois suffisamment satisfaisante,

aux résultats que je vais maintenant faire connaître.

Avant de passer à l'exposé de ces résultats, je crois devoir donner encore quelques détails sur la manière dont j'ai déterminé, dans chaque expérience, la vitesse de rotation et le travail moteur.

Comme il n'était pas certain que le tachymètre indiquât bien exactement la véritable vitesse de rotation du ventilateur sans avoir besoin de correction par un coefficient que je ne connaissais pas dans l'espèce, j'ai fait relever cette vitesse avec un compteur à pointe de pyramide quadrangulaire que l'on enfonçait dans un petit trou central ménagé sur l'arbre du ventilateur. Il est résulté, en effet, de nombreuses constatations ainsi faites, que l'indication du tachymètre devait être multipliée par 0,9 pour donner la véritable vitesse de rotation du ventilateur.

Pour la détermination du travail moteur, que j'ai tenu à évaluer directement sur l'arbre du ventilateur, je l'ai fait en transmettant le mouvement à cet arbre par l'intermédiaire d'un dynamomètre de rotation. Ce dynamomètre était à lame de ressort tarée avec soin, dont les flexions se traçaient en diagrammes, à volonté, quand une vitesse de rotation, indiquée par le tachymètre, qu'on avait constamment sous les yeux, s'y voyait établie et se maintenant. Chaque diagramme, ainsi obtenu en dents de scie, n'était tenu pour bon et utilisable qu'autant que la flexion moyenne de la lame de ressort, qu'il indiquait, était restée sensiblement constante. Alors, mais alors seulement, elle était mesurée avec exactitude, et l'on en déduisait l'effort exercé par la lame de ressort sur l'arbre même du ventilateur à une distance connue de son axe, directement et sans correction plus ou moins arbitraire et incertaine, et, par suite, le travail moteur sur cet arbre, la vitesse de rotation étant connue.

II. — RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

Travail moteur. — Le travail moteur (T_m) sur l'arbre du ventilateur, relevé directement comme je viens de le dire, en kilogrammètres par seconde, dans 160 observations, a varié entre 58 et 392; par conséquent la force motrice (F), en chevaux de 75 kilogrammètres par seconde, agissant sur le même arbre, a varié entre 0,77 et 5,28.

Vitesse de rotation. — La vitesse de rotation ω du ventilateur, qui en est résultée, déterminée par le procédé indiqué, a varié depuis 375 jusqu'à 870 tours par minute, soit de 6,25 à 14,50 par seconde; par conséquent, sa vitesse périphérale π D. ω, avec D $=$ 0^m,915, depuis 18 jusqu'à 42 mètres par seconde.

Je n'ai pas fait tourner le ventilateur plus vite parce qu'il donnait des craintes de détraquement à une vitesse plus grande, ni plus lentement parce que cela m'a paru inutile, attendu que tous les résultats de son fonctionnement tendent vers 0 à mesure que sa vitesse de rotation y tend.

Ces vitesses ont d'ailleurs varié non seulement avec la force motrice et aussi avec la grandeur de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, mais encore avec la densité de l'air, et cette dernière variation s'est manifestée nettement en sens inverse de celle de la densité de l'air, malgré le faible écart des valeurs extrêmes qu'a eues cette densité dans mes expériences (de 1,173 à 1,243 kilogrammes par mètre cube), écart de 70 grammes seulement par mètre cube, c'est-à-dire de 3 p. 100 seulement de sa densité moyenne (1,208) de part et d'autre de cette densité moyenne.

Huit valeurs différentes de la densité de l'air ayant été observées pendant mes expériences entre ces va-

leurs extrêmes, j'ai même pu reconnaître, comme résultat moyen de toutes mes constatations, que, toutes choses égales d'ailleurs, la variation de la vitesse de rotation du ventilateur a été en raison inverse de $\sqrt{\delta}$, soit proportionnelle à $\delta^{-\frac{1}{2}}$.

Sa variation avec F, toutes autres choses égales aussi, ayant été proportionnelle à $\sqrt[3]{F}$, le coefficient de sa proportionnalité à $F^{\frac{1}{3}}\delta^{-\frac{1}{2}}$ a varié de telle manière, avec la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe (dont j'ai expérimenté sept différentes), que, en portant les diverses valeurs qu'a eues ce coefficient (c_{ω}) en ordonnées sur abscisses égales aux grandeurs superficielles de cet orifice, il m'est apparu représentable par la courbe de la *fig.* 2 (Pl. XVII).

Dépressions locales. — En tous les points où la dépression a été déterminée par le procédé indiqué ci-dessus, dans la section droite du *cylindre-ajutage* située à 25 millimètres de son entrée (à cause de la nécessité d'insertion dans sa tôle des tubes allant de son intérieur aux manomètres extérieurs), pour chaque même densité de l'air et pour chaque même orifice de son admission devant l'ouïe, la dépression (d_r) a bien été (compte tenu de toutes les dénivellations observées, au nombre de 1.460 sur tous les manomètres) en moyenne sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse de rotation, par conséquent à $F^{\frac{2}{3}}$, toutes autres variables indépendantes égales d'ailleurs, mais avec un coefficient de proportionnalité qui a varié non seulement avec la densité de l'air et avec la grandeur superficielle de l'orifice de son admission devant l'ouïe, mais aussi avec la distance (r) à l'axe de l'ajutage du point où la dépression a été relevée.

La variation de ce coefficient avec la densité de l'air (δ),

toutes autres choses égales d'ailleurs, a été notée séparément pour chacun des orifices d'admission de cet air, et, pour chacun d'eux, également pour chaque distance à l'axe de l'ajutage. Elle a été ainsi trouvée, dans chaque groupe de valeurs formé de la sorte, avoir été dans le même sens que la variation de la densité de l'air, et de telle manière que ce coefficient m'a paru pouvoir être admis (au moins dans mes expériences et entre les limites de valeurs qu'y a eues la densité de l'air) sensiblement proportionnel à cette densité; et le coefficient (c_r) de proportionnalité de la dépression à $F^{\frac{2}{3}} \delta$ a varié non seulement avec la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air, mais, pour chaque grandeur de cet orifice, avec la distance à l'axe de l'ajutage du point de passage de l'air, et d'une façon irrégulière.

Dépression initiale. — C'est seulement quand l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe a été complètement bouché que le coefficient de proportionnalité de la dépression à $F^{\frac{2}{3}} \delta$ est resté, au moins à très peu près, le même en tous les points de la section droite d'entrée de la partie cylindrique de l'ajutage, et avec la valeur moyenne la plus forte qu'il ait atteinte (celle correspondant à ce qui a été appelé la *dépression initiale*).

Dépression moyenne. — Mais, pour des orifices d'admission de l'air devant l'ouïe devenant de plus en plus ouverts jusqu'à finir par égaler la grandeur superficielle de l'ouïe, la valeur du coefficient de $F^{\frac{2}{3}} \delta$ dans la formule de la dépression locale a de plus en plus varié avec la distance (r) du point de passage de l'air à l'axe de l'ajutage, et finalement, dans le dernier cas (d'orifice d'entrée de l'air de grandeur superficielle égale à celle de l'ouïe), l'a fait avec

l'écart maximum, qui a été de 17 à 32, c'est-à-dire à très peu près du simple au double, comme le montre la *fig.* 3, Pl. XVII pour ce cas et pour plusieurs des autres expérimentés.

Avec les éléments fournis par les graphiques des coefficients de dépressions locales, j'ai pu calculer, pour chaque orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, le coefficient de proportionnalité à $F^{\frac{2}{3}}\delta$ de la dépression moyenne δ_{ms} dans toute la section droite du cylindre-ajutage située à 25 millimètres de son entrée, en formant d'abord les courbes (représentées au bas de la *fig.* 3) dont les ordonnées sont, sur abscisses égales à r, les produits par r des coefficients partiels de δ_r qui m'ont été fournis par mon expérimentation et qui sont représentés (en partie) dans la *fig.* 3; puis, en évaluant les surfaces comprises entre ces courbes et l'axe des abscisses (comme il a été dit plus haut). J'ai ainsi trouvé que ce coefficient c_{dms} a varié, avec la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, d'une façon enfin assez régulière et pouvant être représentée par la courbe de la *fig.* 4 (dont j'ai d'ailleurs reporté les indications dans la *fig.* 3), Pl. XVII.

Vitesses longitudinales. — La vitesse *longitudinale* (v) de l'air a été déterminée par la formule donnée plus haut, à son entrée dans le *cylindre-ajutage*, en chacun des points indiqués au paragraphe : *Dispositif de l'expérimentation*, avec chacun des orifices d'admission de l'air devant l'ouïe, et a été, en conséquence de cette formule et de ce qui a été dit ci-dessus, toujours sensiblement indépendante de δ et proportionnelle à $F^{\frac{1}{3}} \cdot g^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité c_{vr} dont les diverses valeurs obtenues ont été, elles aussi, comme celles du coefficient des dépressions locales, très irrégulières, mais d'une manière

différente, et telle que le montrent les courbes des *fig*. 5, en fonction de la distance au centre; 5 *bis*, en fonction de la grandeur de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, et l'abaque 5 *ter*, Pl. XVII, obtenu par la combinaison des deux groupes de courbes 5 et 5 *bis*. On voit que ce coefficient passe à certaines places du positif au négatif par 0, quoique l'air y ait été trouvé partout et toujours en dépression positive.

Cela est résulté de ce que h'_r a été quelquefois égal à ∂_r et même, d'autres fois, plus grand, bien que, le plus souvent, il ait été plus petit, et même, dans certains cas, nul.

Quand h'_r a été nul, c'est que le filet d'air se dirigeait vers l'ouïe parallèlement à l'axe de l'ajutage; cela est arrivé uniquement quand il n'y avait pas de tronc de cône devant le cylindre-ajutage, et alors seulement dans la partie centrale de l'entrée de ce cylindre, jusqu'aux 3/4 de son rayon. Au delà dans ce cas, et partout dans les autres cas, h'_r a été plus ou moins grand; ce dont la conséquence était que le filet d'air, à sa traversée de la section droite du cylindre-ajutage située à 25 millimètres de l'entrée de ce cylindre, faisait alors un angle plus ou moins grand avec son axe (par l'effet de la contraction de la veine gazeuse quand il n'y avait pas de tronc de cône devant le cylindre-ajutage, et de son épanouissement, au contraire, quand il y en avait).

h'_r est resté plus petit que ∂_r tant que cet angle a été aigu.

Quand h'_r est devenu égal à ∂_r, c'est que cet angle était droit, c'est-à-dire que l'air se mouvait perpendiculairement à l'axe de l'ajutage ou ne se mouvait pas; et, quand h'_r a été plus grand que ∂_r, c'est que le filet d'air allait s'éloignant de l'ouïe et qu'alors on avait

$$h'_r = \partial_r + \frac{\delta(-v_r)^2}{2g}, \quad \text{par conséquent} \quad v_r = -\sqrt{\frac{2g}{\delta}(h'_r - \partial_r)}.$$

Cette dernière circonstance indiquait soit du tourbillonnement au point où elle se manifestait, soit de l'arrivée, en ce point, d'air aspiré par ailleurs que par l'orifice de son admission devant l'ouïe (par les entrejoues du ventilateur et par une partie de la périphérie de sa turbine, périphérie de $0^{m2},89$, tandis que la surface de l'ouïe n'était que de $0^{m2},20$), cet air venant alors jusque dans l'ajutage et s'y retournant pour aller ressortir finalement par une autre partie de la périphérie de cette turbine, en même temps que celui entré par l'orifice de l'ajutage.

Ces considérations expliquent pourquoi les vitesses longitudinales locales de l'air dans l'ajutage (et de même dans l'intérieur du ventilateur) ne peuvent pas y être en rapport avec ses dépressions locales, non seulement là où la dépression n'est évidemment pas la cause unique de son mouvement, mais encore là où elle peut sembler devoir l'être et où elle ne détermine alors, quand elle l'est réellement, que sa vitesse *absolue* (w_r), mais non pas sa vitesse *longitudinale* (v_r).

A tous les points où la vitesse longitudinale s'est manifestée nulle, la dépression locale a été sensiblement la dépression moyenne ∂_{ms}, *mais non* ∂_{mv}, sans réciproque d'ailleurs (cela ressort de l'examen comparatif des *fig.* 5 et 3, Pl. XVII).

La vitesse longitudinale moyenne de l'air, dans toute la section droite du cylindre-ajutage de même diamètre que l'ouïe (v_{ms}), devait être, naturellement, indépendante de ∂ et proportionnelle à $F^{\frac{1}{3}}g^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité (c_{vm}), que j'ai calculé, pour chaque orifice d'admission de l'air devant l'ouïe du ventilateur, d'après la formule et la méthode indiquées plus haut et qui est ainsi, — comme celui de la dépression moyenne dans la même section, — ressorti assez régulier, mais d'une autre manière que représente la courbe (1) de la *fig.* 1, Pl. XVIII.

Cette vitesse longitudinale moyenne résulte d'ailleurs non seulement des diverses vitesses longitudinales locales de l'air entré par l'orifice de son admission devant l'ouïe, mais, au moins quelquefois, sinon toujours, de celles encore de l'air qui a pu pénétrer jusque dans le cylindre-ajutage après être entré dans le ventilateur par ailleurs (par la périphérie de sa turbine et par les entrejoues), air qui, après s'être retourné dans l'ajutage, est rentré dans le ventilateur par son ouïe en même temps que celui entré dans l'ajutage par son orifice d'admission.

Le coefficient e_{vm} n'est d'ailleurs pas celui de la vitesse longitudinale moyenne de l'air à son entrée dans l'ajutage tronconique. Le volume d'air qui entre par l'orifice de cet ajutage tronconique étant le même que celui qui traverse ensuite toutes les sections droites de l'ajutage et l'ouïe, pour entrer, par elle, dans le ventilateur (*), sa vitesse longitudinale moyenne à la traversée de chacune de ces diverses sections droites doit être en raison inverse de leur grandeur superficielle, et, par conséquent, son coefficient de proportionnalité à $F^{\frac{1}{3}}g^{\frac{1}{2}}$ doit être représenté par la courbe (2) de la *fig.* 1, Pl. XVIII, courbe dont chaque ordonnée représente, au facteur constant S près, le coefficient angulaire du rayon vecteur du point correspondant de la courbe (1).

Si l'orifice s croissait de plus en plus, au delà de la grandeur de l'ouïe, cette ordonnée tendrait asymptotiquement vers zéro, tandis que celle de la courbe (1) resterait constante. Quand, au contraire, l'orifice s diminue de plus en plus, elle tend vers une valeur qui est le produit par S

(*) Quand de l'air entré dans le ventilateur par ses entrejoues et par la périphérie de sa turbine a pénétré jusque dans l'ajutage, s'y est retourné et en est sorti ensuite pour rentrer dans le ventilateur en volume égal, le volume d'air traversant une section droite de l'ajutage se compose d'une partie positive et d'une partie négative, et ce n'est qu'*algébriquement* qu'il reste égal à celui entré par l'orifice d'admission devant l'ouïe.

du coefficient angulaire de la tangente à l'origine de la courbe (1), et qui apparait, d'après la figure, être à peu près égale à 4. Sans doute cette valeur ne peut être considérée comme résultant avec une grande précision des données directement fournies par mes expériences, à cause de la grandeur croissante de l'erreur relative commise sur une quantité de plus en plus petite (vitesse longitudinale moyenne dans l'ouïe), mesurée avec une approximation absolue sensiblement constante. Mais du moins l'allure générale de la courbe (2) avec maximum intermédiaire, résultant de l'allure à inflexion de la courbe (1), parait établie avec une certitude suffisante.

Remarque sur le coefficient de contraction de la veine. — Cette allure, qui peut sembler *a priori* un peu anormale, doit sans doute s'expliquer par une variation, corrélative de celle de la grandeur de l'orifice, du coefficient de contraction de la veine fluide, variation dont on peut se rendre un compte approximatif par les considérations suivantes :

Dans la section contractée, la dépression et la vitesse, qu'on peut y supposer constantes l'une et l'autre, en raison de la simplicité des conditions du phénomène en ce point, sont pour la même raison liées par la relation :

$$V^2 = 2g \frac{\partial}{\delta}.$$

D'autre part, la vitesse V dans ladite section, de grandeur αs, et la vitesse moyenne v_{ms} à l'entrée de l'ouïe de grandeur S, déterminée directement par mes expériences, sont dans le rapport inverse des sections :

$$V = \frac{S}{\alpha s} v_{ms} = \frac{S}{\alpha s} c_{vm} F^{\frac{1}{3}} g^{\frac{1}{2}}.$$

De ces deux relations on déduit :

$$\alpha^2\delta = \frac{1}{2}\frac{S^2}{s^2}c_{vm}^2 F^{\frac{2}{3}}\delta.$$

La variation de c_{vm} en fonction de s étant donnée par la courbe (1) de la *fig.* 1, Pl. XVIII, et celle de $\frac{S}{s}c_{vm}$ par la courbe (2) de la même figure, il est facile de construire la courbe représentative de la variation du coefficient de $F^{\frac{2}{3}}\delta$ dans l'expression ci-dessus de $\alpha^2\delta$. C'est celle portée sous le numéro 3 dans la *fig.* 2, Pl. XVIII, dont la courbe (1) est la reproduction de celle de la *fig.* 4, Pl. XVII (dépression moyenne à l'entrée de l'ouïe).

La dépression au passage dans l'orifice rétréci est d'ailleurs égale à cette dernière dans deux cas : celui de l'orifice entièrement bouché ($s = o$, dépression initiale) et celui de l'orifice égal à l'ouïe (s confondu avec S) ; on peut tenir pour évident qu'elle tendrait vers zéro si l'orifice d'entrée en avant de l'ouïe croissait indéfiniment, et il est naturel de penser que, dans le cas d'orifice rétréci de grandeur finie ($o < s < S$), le fluide en mouvement se trouve à l'état de dépression maxima au passage dans la section contractée, que notamment la dépression dans cette section est plus ou moins supérieure à la valeur moyenne qu'elle a à l'entrée de l'ouïe, où je l'ai mesurée.

D'après ces considérations, on peut regarder comme établi que la variation du coefficient de $F^{\frac{2}{3}}.\delta$ dans l'expression de la valeur de la dépression dans la section contractée a l'allure représentée par la courbe (2) de la *fig.* 2, Pl. XVIII. Dès lors le coefficient de contraction α est la racine carrée du rapport des ordonnées des courbes (3) et (2) de la même figure, et sa variation en fonction de s peut se représenter par la courbe (4) de la même figure, sur laquelle a été

tracée aussi l'horizontale (5) correspondant à la valeur 0,65 habituellement admise dans la pratique. On voit notamment que, pour un orifice infiniment rétréci, le coefficient en question semble tendre vers la valeur 0,40, tandis que, pour les orifices tant soit peu supérieurs à 1 décimètre carré, il se tiendrait entre 0,75 et 0,80.

Ce dernier résultat est en concordance avec celui d'une expérience relatée par Tresca dans une note lue à l'Académie des Sciences le 31 mars 1884. Dans cette expérience, en effet, une dépression de $93^{mm},44$ d'eau (trouvée très uniforme par plus de 300 relevés très concordants entre eux) était produite au moyen d'un ventilateur Ser dans une vaste chambre d'aspiration, où l'air extérieur affluait par un orifice en mince paroi de 1 mètre carré de superficie. Le débit, mesuré très exactement, ayant été trouvé de $28^{m^3},632$, alors que la formule théorique, avec un coefficient de contraction de 0,75, aurait donné $28^{m^3},990$, il en résultait que le coefficient réel était de 0,741.

Volume d'air débité. — Le volume d'air entrant dans le ventilateur par son ouïe pendant l'unité de temps, étant égal au produit de la vitesse longitudinale moyenne de cet air dans la section droite de l'ajutage par la grandeur superficielle de cette section droite, a été, ainsi que cette vitesse longitudinale, indépendant de la densité de l'air et proportionnel à $F^{\frac{1}{3}}.g^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité (c_V) qui est représenté par la courbe en trait plein de la *fig.* 3, Pl. XVIII, identique, à l'échelle près, à la courbe (1) de la *fig.* 1 de la même planche.

Travail de l'air entrant. — Enfin, pour le travail de cet air pendant l'unité de temps (par seconde), j'ai pu le calculer exactement dans le cas où l'air est entré directement, de l'atmosphère libre et tranquille, dans le cylindre-

ajutage non précédé de tronc de cône, par la formule indiquée plus haut.

Il devait être, naturellement, proportionnel à $F . \delta . g^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité qui — après que j'ai eu tracé la courbe dont les ordonnées étaient $\partial_r . \sqrt{(\partial - h')_r} . r$, sur abscisses égales à r, et que j'ai eu évalué la surface comprise entre cette courbe et l'axe des abscisses comme il a été dit plus haut, — est ressorti égal à 24 (avec les unités, kilogramme, mètre et seconde, employées dans tout le cours de ce mémoire).

Si, au lieu de calculer le travail de l'air entrant dans l'ouïe de la manière dont je l'ai fait pour la plus grande exactitude possible, on le calculait, *ainsi qu'il est d'usage*, en faisant le produit, par le volume d'air aspiré, de la dépression relevée à un endroit où l'air soit le moins agité qu'on le puisse trouver dans l'espace clos précédant l'ouïe — dépression qui a bien été, il est vrai, là où l'air était tout à fait sans vitesse de progression parallèle à l'axe de l'ajutage, égale à la dépression moyenne ∂_{ms}, mais non à la dépression moyenne ∂_{mv}, — on trouverait, — comme je l'ai trouvé en employant ce dernier procédé avec les résultats que j'ai obtenus de mes expériences, — pour le coefficient de $F . \delta . g^{\frac{1}{2}}$ dans l'expression de $V . \partial_{ms}$, à l'entrée de l'air dans le cylindre-ajutage non précédé de tronc de cône, la valeur 18,6 au lieu de 24, qui est la valeur réelle de ce coefficient dans l'expression du vrai travail de l'air en ce cas.

Le rapport de ce vrai travail de l'air au travail moteur correspondant sur l'arbre du ventilateur (lequel travail moteur est, par seconde, 75F) a donc été égal à $\delta . g^{\frac{1}{2}} . 0{,}32$. D'où il résulte que ce rapport, indépendant de F, a varié, dans mes expériences, avec la densité de l'air, depuis 1,175 jusqu'à 1,245 ; et il a dû y être plus grand encore

à la traversée par l'air de certains orifices d'admission plus petits que l'ouïe, dans lesquels, la vitesse longitudinale moyenne de l'air étant plus grande qu'à son entrée dans le cylindre-ajutage et proportionnelle au carré du rapport du diamètre de ce cylindre au diamètre de l'orifice d'admission, le carré de cette vitesse longitudinale moyenne a été proportionnel à la 4ᵉ puissance de ce rapport. Il est vrai que le volume, et par conséquent la masse de l'air entrant, deviennent plus petits quand l'orifice d'admission devient plus petit ; mais cette masse décroît, au début, beaucoup moins que ne croît la vitesse longitudinale moyenne [on le voit par la comparaison des courbes (1) et (2) de la *fig.* 1, Pl. XVIII] et, *a fortiori*, le carré de cette vitesse. Dès lors il est certain que, à mesure que l'orifice d'admission de l'air décroît, à partir de la grandeur d'ouverture du cylindre-ajutage, le rapport au travail moteur du travail de l'air traversant l'orifice d'admission doit croître, mais seulement jusqu'à une certaine limite, après laquelle il doit décroître, même jusqu'à 0, valeur vers laquelle il doit évidemment tendre, en même temps que la masse de l'air entrant, à mesure que la grandeur de l'orifice d'admission y tend (*fig.* 3 et 1, Pl. XVIII). Pour donner d'ailleurs une idée de la croissance, suivie de décroissance, de ce rapport, j'ai calculé, au moyen de la courbe (2) de la *fig.* 1 et de la courbe de la *fig.* 3, les valeurs successives du rapport au travail moteur du demi-produit de la masse $\frac{V.\delta}{g}$ par le carré de la vitesse longitudinale moyenne de l'air traversant les orifices décroissants de son admission. Ce demi-produit est plus petit que le travail de cet air, dont toutes les vitesses longitudinales sont inférieures aux vitesses absolues ; mais, comme j'ai pu déterminer la valeur exacte du travail de l'air dans le cas d'orifice égal à l'ouïe et que je l'ai trouvée égale alors à ce demi-produit multiplié par 1,9,

j'ai multiplié par le même nombre les demi-produits obtenus comme je viens de le dire dans les autres cas, et j'ai obtenu ainsi des valeurs dont le rapport au travail moteur a été égal à $\alpha . \delta g^{\frac{1}{2}}$, le coefficient α étant représenté par la courbe de la *fig.* 4, Pl. XVIII, qui, sans que je puisse la donner pour rigoureusement exacte dans toutes ses parties, doit l'être d'une manière générale au moins approximativement, et est même certainement exacte en deux de ses points (correspondant aux abscisses 0 et 20), tendant d'ailleurs, certainement aussi, asymptotiquement vers l'axe des abscisses, lorsque celles-ci croissent indéfiniment.

La valeur maximum de ce coefficient, accusée par sa courbe, étant 0,43, il en résulte que, dans mes expériences, entre les limites de valeurs qu'y a eues δ et avec celle qu'y avait g, le rapport au travail moteur (sur l'arbre du ventilateur) du travail de l'air à son entrée dans un ajutage tronconique a pu s'élever jusqu'à environ 1,67 ! tout en ayant pu avoir toutes les autres valeurs depuis 0 jusqu'à celle-là, qui peut d'ailleurs être dépassée encore lorsque la densité du fluide aspiré ou l'intensité de la pesanteur, et surtout l'une et l'autre à la fois, comme il peut arriver, sont plus grandes qu'elles ne l'ont été dans mes expériences.

La possibilité de grandeur supérieure à 1 du rapport au travail moteur du travail de l'air aspiré par l'ouïe peut paraître étonnante *a priori* ; cependant elle peut être comparée à l'ascension de l'eau dans un siphon à un niveau supérieur à ses niveaux originel et final : elle comporte nécessairement, comme conséquence indispensable, qu'il soit fait, au moins alors, dans l'intérieur du ventilateur, un abandon suffisant de force vive de cet air pour qu'à la sortie son travail soit toujours inférieur au travail moteur.

Conditions de sortie de l'air. — C'est pourquoi j'ai voulu me rendre compte des conditions dans lesquelles l'air est sorti du ventilateur.

Pour cela j'ai opéré comme je l'ai dit ci-dessus, et j'ai obtenu ainsi les résultats suivants :

1° L'air sortant de la turbine du ventilateur, par sa périphérie sans enveloppe, s'est toujours manifesté en dépression, mais beaucoup plus faible qu'à l'entrée, n'ayant varié que de 1,5 à 13,5 millimètres d'eau, au lieu de 26 à 133. Sa dépression à la sortie a d'ailleurs varié, non seulement avec la force motrice, la densité de l'air et la grandeur de son orifice d'admission devant l'ouïe, mais encore avec la position de sa circonférence de sortie sur la périphérie, c'est-à-dire avec son éloignement des joues du ventilateur. Elle a dû même varier aussi, toutes choses égales d'ailleurs, d'un point à l'autre de la distance qui sépare les ailettes de la turbine entre elles; mais je n'ai pu constater cette dernière variation, les manomètres ne pouvant l'indiquer (à cause de la rapidité de la rotation) et ne pouvant donner, ne donnant en effet, que les valeurs moyennes des différentes dépressions le long de l'arc parallèle aux joues compris entre deux ailettes consécutives, auquel ces manomètres correspondaient. Je n'ai donc pu obtenir que les moyennes des valeurs de la dépression à la sortie sur chaque circonférence parallèle aux joues de la périphérie de la turbine du ventilateur.

2° Chaque filet d'air est sorti plus ou moins obliquement dans l'intérieur de l'angle trièdre formé par les tubes (1), (3), (4) de la *fig*. 1, du côté de l'ouïe, le manomètre du tube (1) ayant toujours indiqué h, tandis que H a toujours été indiqué par celui du tube (2); l'obliquité, d'ailleurs, ainsi que la vitesse, de chaque filet d'air, ont été variables d'un point à l'autre de la largeur du ventilateur, et ont dû l'être aussi d'un point à l'autre de la distance d'une ailette à la suivante.

3° Les composantes normales à la surface cylindrique de la périphérie de la turbine, ou composantes radiales, des vitesses obliques de sortie de l'air sur chaque circonférence parallèle aux joues, composantes desquelles seules dépend le volume d'air rejeté, ont encore, pour chaque même grandeur de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, été, en moyenne, indépendantes de $\mathfrak{z}$ et sensiblement proportionnelles à $F^{\frac{1}{3}}$; par conséquent, leurs valeurs moyennes générales pour toute la largeur du ventilateur l'ont été aussi; et le coefficient de proportionnalité de ces valeurs moyennes générales à $F^{\frac{1}{3}} . g^{\frac{1}{2}}$, soit c_{vlm}, a varié, avec la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, de telle manière qu'il m'a paru pouvoir être représenté par la courbe (1) de la *fig.* 5, Pl. XVIII.

Il est d'ailleurs arrivé quelquefois (quand l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe était le plus petit, et surtout quand il était complètement bouché) que, sur certaines circonférences parallèles aux joues du ventilateur, la vitesse radiale locale (v_l) a été nulle, et même négative ; ce qui indiquait bien, dans ce dernier cas, que, sur ces circonférences de la périphérie du ventilateur, de l'air entrait dans son intérieur (au moins par certains de leurs points) et que, s'il en sortait en même temps (par d'autres points de chacun des arcs compris entre deux ailettes consécutives), c'était en quantité moindre que celle qui entrait (par le reste de ces arcs). Ce fait, rapproché des remarques faites sur les irrégularités de la vitesse longitudinale, à l'entrée du ventilateur établit bien que de l'air, entré par ces circonférences de périphérie de la turbine du ventilateur, a pénétré, au moins quelquefois (quand l'entrée de l'air par l'ouïe a été le plus entravée), jusque dans le vide central du ventilateur, même jusque dans l'ajutage précédant l'ouïe, et, après s'y être re-

tourné, est ressorti par d'autres points de la périphérie de la turbine, en même temps que celui entré par ailleurs ; ce qui se comprend, du moment que l'air était en dépression à cette périphérie, dont la surface était d'ailleurs beaucoup plus grande que celle totale de toutes les autres ouvertures par lesquelles l'air pouvait entrer.

Il est même probable que, avec le ventilateur (non enveloppé) que j'ai expérimenté, ce phénomène s'est produit, mais avec de moins en moins d'intensité, dans tous les cas d'ouvertures de plus en plus larges d'admission de l'air devant l'ouïe, parce que la grandeur superficielle de l'ouverture de sortie par la périphérie de sa turbine y était plus que quadruple (4,54) de celle d'ouverture de son ouïe, par conséquent plus supérieure encore à celle des entrées de troncs de cônes même les plus grandes, et que l'air y a toujours été en dépression (moyenne) dans tous les cas. Par la comparaison des *fig.* 5 et 1, Pl. XVIII, on voit que, même dans le cas où la surface de l'ouverture d'admission de l'air devant l'ouïe était égale à celle de l'ouïe, le rapport de la vitesse longitudinale moyenne de l'air entrant par cette surface à sa vitesse radiale moyenne de sortie par la périphérie de la turbine était seulement de 3,9 ; d'où il résulte qu'il sortait encore, par cette périphérie, plus d'air qu'il n'en entrait par l'ouïe. Il est vrai que cet excès (on le verra plus loin) provenait d'air entré par les entrejoues et (probablement) aussi par des joints du ventilateur; de sorte qu'il pouvait quand même ne pas entrer d'air du tout, alors, par la périphérie de la turbine ; et, s'il en entrait, ce ne devait être que très peu. Mais de l'air devait certainement commencer à entrer par la périphérie de la turbine, en même temps que par l'ouïe, les entrejoues et les joints, dès que l'ouverture d'admission de l'air devant l'ouïe commençait à devenir notablement plus petite que l'ouïe, et sa quantité devait aller en augmentant à mesure que cette ouverture devenait de plus en plus petite.

Il en résulte que la vitesse moyenne avec laquelle l'air sortait, là où il sortait, tandis qu'il en entrait par d'autres endroits de la périphérie, était plus ou moins supérieure à celle indiquée par la courbe (1) de la *fig.* 5, Pl. XVIII. Il est d'ailleurs évident, dès à présent, qu'il a dû entrer de l'air dans le ventilateur par ailleurs que par son ouïe, et que l'excès d'air y entrant ainsi a dû sortir par la périphérie en même temps que celui entré par l'ouïe ; car, s'il en avait été autrement, la vitesse radiale moyenne de sa sortie par la périphérie aurait été non celle correspondant à la courbe (1) de la *fig.* 5, Pl. XVIII, mais celle correspondant à la courbe (2) de cette même figure [courbe déduite de la courbe (1) de la *fig.* 1, Pl. XVIII, en divisant toutes ses ordonnées par 4,54].

4° Le volume d'air sortant du ventilateur dans l'unité de temps, par la périphérie de sa turbine, ou plutôt l'excès du volume en sortant ainsi sur le volume entrant en même temps par une autre partie de cette périphérie et en ressortant après en égale quantité, — excès que j'ai pu seul mesurer (ce qui était d'ailleurs suffisant pour le but que je me proposais), et qui est ce que représente V_s (ou $\pi D L r_{tm}$) — est, par conséquent, pour le ventilateur que j'ai expérimenté, représenté par la formule $V_s = F^{\frac{1}{3}} . g^{\frac{1}{2}} \times$ un coefficient ($c_{Vs} = 0,89 c_{rtm}$) représenté lui-même par la courbe (1) de la *fig.* 6, Pl. XVIII.

En reportant dans cette même *fig.* 6, comme je l'y ai fait également (courbe (2)), le coefficient de $F^{\frac{1}{3}} . g^{\frac{1}{2}}$ de l'expression du volume d'air aspiré par l'ouïe dans le même temps (par seconde), tel qu'il a été donné dans la *fig.* 3, Pl. XVIII, on voit que ce dernier a toujours été plus petit que l'autre : et l'excès de celui de la sortie par la périphérie de la turbine sur celui de l'entrée par l'ouïe est représenté par la courbe (3) de la *fig.* 6, Pl. XVIII.

Cet excès m'a paru devoir provenir, au moins principa-

lement, de l'air aspiré par les deux entrejoues de l'appareil.

J'ai voulu, pour m'en assurer, surtout à cause de sa grandeur dans les cas de petites ouvertures d'admission de l'air devant l'ouïe, mesurer directement la quantité de cet air, et je l'ai fait au moyen de quatre manomètres disposés de la même manière que devant la périphérie de la turbine, au milieu de la périphérie de chacun des deux entrejoues (ayant l'un et l'autre 5 millimètres et demi de largeur). J'ai trouvé ainsi que le volume d'air entrant par les entrejoues a encore été proportionnel (en moyenne) à $F^{\frac{1}{3}} . g^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité dont les valeurs, déduites des indications des manomètres, sont représentées par les ordonnées de la courbe (4) de la *fig.* 6, Pl. XVIII.

On voit, par les positions relatives de cette dernière courbe et de la courbe (3) de la même *fig.* 6, que le volume d'air entré dans le ventilateur par ses deux entrejoues a encore été toujours moindre que l'excès du volume sorti par la périphérie de la turbine (sans être entré par cette périphérie) sur le volume entré par l'ouïe, et moindre d'une quantité qui est représentée par la courbe (5) de la *fig.* 6. Cette quantité, bien que relativement petite, mais toujours dans le même sens, ne me paraît pas pouvoir être attribuée, du moins entièrement, aux erreurs d'observation ; je pense qu'elle doit l'être, au moins pour la plus grande partie, à ce que de l'air a dû entrer aussi par des joints de l'appareil incomplètement hermétiques, principalement sur l'arbre du ventilateur, du côté opposé à l'ouïe, très peu quand l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe a été le plus large, et en quantité croissante à mesure qu'il a été de plus en plus rétréci ; ce qui se comprend. Il en a d'ailleurs été de même pour l'entrée de l'air par les entrejoues [courbe (4) de la *fig.* 6] ; tandis

que la quantité d'air entrant par l'ouïe allait en diminuant jusqu'à 0, cas dans lequel il est entré presque autant d'air par ailleurs qu'il en entrait par l'ouïe, quand elle n'était pas obstruée du tout.

On s'explique, par le concours de ces circonstances, et surtout par les formes de leurs courbes représentatives, la forme, qui peut tout d'abord étonner et paraître même invraisemblable, de la courbe (1) de la *fig.* 6, Pl. XVIII, du volume d'air sortant par la périphérie de la turbine sans être entré par cette périphérie.

Résumé. — Les résultats que j'ai obtenus, tels que je viens de les exposer, me paraissent avoir fourni, par leur ensemble, une vérification suffisante de leur exactitude, et par conséquent de celle des procédés au moyen desquels j'y suis parvenu. Je me crois donc autorisé à avoir confiance en ces résultats, et, par suite, en ceux qu'il me reste à faire connaître comme en dérivant, savoir :

D'abord et surtout, le travail de l'air expiré à la périphérie de la turbine après avoir été pris immobile, et par conséquent sans force vive, dans l'atmosphère libre et tranquille, (non seulement d'ailleurs par l'ouïe, mais aussi par les deux entrejoues et par les joints de l'appareil ; également, au moins quelquefois, sinon toujours, par certaines parties de la périphérie elle-même ; le tout rejeté ensuite par les autres parties de cette périphérie) ; et le rapport de ce travail au travail moteur sur l'arbre du ventilateur, rapport qui est le *véritable rendement dynamique* de l'appareil (*) et qui, lui, ne peut pas être supérieur ni même égal à 1. Ce rapport a été calculé par la formule de T_s divisée par 75F, et toujours par le même

(*) Au point de vue mécanique rationnel ; car ce rendement n'a évidemment aucun intérêt industriel, un ventilateur n'ayant pas pour but pratique de communiquer de la force vive à l'air mis en mouvement.

procédé d'intégration et de représentation géométriques.

Il est vrai qu'ainsi calculé ce rapport devait être trouvé plus ou moins inférieur à ce qu'il était en réalité, à cause de l'air entré par la périphérie de la turbine et ressorti ensuite en volume égal par la même périphérie, que je n'ai pu déterminer et dont je n'ai pu tenir compte en l'ajoutant à l'autre; mais je n'ai pu faire mieux. Ce n'est d'ailleurs que dans les cas de petits orifices d'entrée de l'air dans l'ajutage tronconique qu'il en sort de tel, en quantité plus ou moins considérable; mais, pour les grands orifices, même de l'ajutage tronconique, il n'y en a eu certainement que très peu, si même il y en a eu, surtout pour le plus grand, celui de l'ajutage cylindrique non précédé de tronc de cône.

Le rapport $\frac{T_s}{T_m}$, que j'ai pu déduire de mes expériences en le calculant comme je viens de le dire, devait donc être encore indépendant de F et proportionnel à $\delta g^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité qui a varié avec la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe et m'est apparu représentable par la courbe (1) de la *fig.* 7, Pl. XVIII, dont l'ordonnée maximum est 0,15, pouvant être un peu inférieure à la réalité, à cause de l'air pouvant entrer par la périphérie de la turbine du ventilateur et en ressortir ensuite avec l'autre; de sorte que, dans les conditions de mes expériences, où le rapport $\frac{T_s}{T_m}$ a été le plus fort, il ne doit pas avoir dépassé 0,60 (au moins notablement) et a toujours été, par conséquent, bien inférieur à 1, assez pour qu'il ne reste plus l'ombre de paradoxe dans les résultats de mon expérimentation.

J'ai pu ensuite déterminer, au moins à peu près, la quantité de force vive qui a été perdue dans l'intérieur du ventilateur par l'air qui y est entré avec une force vive

supérieure à celle de sa sortie. Cet air n'étant pas uniquement celui qui y pénètre par l'ouïe, mais encore celui qui, en même temps, y entre par les deux entrejoues et par les joints de l'appareil, — aussi, quelquefois au moins, sinon toujours, par certaines parties de la périphérie de sa turbine, en même temps que le tout en sort par les autres parties de cette périphérie, — la force vive perdue par l'air dans l'intérieur du ventilateur est l'excès de celle de tout cet air à son entrée sur celle de tout cet air à sa sortie.

Dans cet excès, celui de la force vive de l'air entrant par la périphérie de la turbine sur celle du même air qui en sort ensuite par cette même périphérie, après s'être retourné dans l'intérieur du ventilateur, est probablement très faible (relativement), surtout quand l'orifice d'admission de l'air par l'ouïe n'est pas très petit. Quoi qu'il en soit, il m'a été impossible d'en tenir compte en aucun cas, n'ayant pu le déterminer. Je n'ai pu déterminer non plus la force vive de l'air entré par les joints (faute d'avoir pu déterminer la vitesse d'entrée de cet air, non plus que son exacte quantité) ; mais cette force vive doit avoir été encore plus faible (relativement). J'ai pu déterminer celle de l'air entré par les deux entrejoues, de la même manière, d'ailleurs, que celle de l'air entrant dans l'ajutage cylindrique devant l'ouïe, au moyen des indications convenablement combinées des manomètres placés sur les deux entrejoues et des formules établies. J'ai trouvé ainsi que le rapport du travail total par seconde de l'air entré par les deux entrejoues au travail moteur (75F) était encore indépendant de F et proportionnel à $\delta q^{\frac{1}{2}}$, avec un coefficient de proportionnalité variable avec la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe, coefficient représentable par la courbe (2) de la *fig.* 7, Pl. XVIII. Dès lors, en ajoutant les ordonnées de

cette dernière courbe à celles de la courbe représentant (approximativement) le coefficient de $\frac{1}{2g^2}$ dans l'expression du rapport au travail moteur du travail de l'air entrant par l'ouverture de son admission devant l'ouïe (*fig.* 4, Pl. XVIII) courbe reproduite dans la *fig.* 7 sous le numéro 3, — j'ai obtenu la courbe (4) de la *fig.* 7, et, en retranchant des ordonnées de cette dernière courbe celles de la courbe (1) de la même *fig.* 7, — opération qui annule (au moins à peu près) l'effet perturbateur que peut produire (au moins quelquefois, sinon toujours) l'air entrant et ressortant après par la périphérie de la turbine, — j'ai obtenu la courbe (5) de la *fig.* 7, courbe qui doit représenter (très approximativement) le coefficient de $\frac{1}{2g^2}$ dans l'expression du rapport au travail moteur sur l'arbre du ventilateur du travail dépensé par l'air dans l'intérieur de l'appareil, depuis son entrée par toutes les ouvertures jusqu'à sa sortie; et l'approximation m'en paraît devoir être plutôt par défaut que par excès, à cause du manque de la contribution qui doit provenir de l'air entrant par les joints, contribution dont je n'ai pu tenir compte, n'ayant pu déterminer le travail de cet air; de sorte que la courbe représentative du dernier coefficient susdit me semble devoir être plutôt et plus approximativement celle numéro 6 de la *fig.* 7, tendant à peu près vers l'origine des coordonnées.

Dans mes expériences, le maximum du rapport au travail moteur (sur l'arbre du ventilateur) de l'excès de force vive de l'air entrant dans l'appareil par toutes ses ouvertures sur la force vive de cet air en sortant tout entier par la périphérie de la turbine tournante a été d'à peu près 1,245 (correspondant au cas où la grandeur superficielle de l'orifice d'admission de l'air devant l'ouïe a été d'à peu près les 3/4 de celle de l'ouïe), et aurait été plus grand encore si la densité de l'air et l'intensité de

la pesanteur avaient été plus grandes qu'elles ne l'ont été.

Si extraordinaires et inattendus que puissent paraître certains de tous ces résultats de mon expérimentation, ils n'en sont pas moins incontestables. Ils se comprennent d'ailleurs, à la réflexion, au moins en principe ; et leurs quotités sont ressorties de déterminations auxquelles je ne vois pas d'objection sérieuse à opposer.

Mais je ne puis en certifier l'exactitude que pour le ventilateur dont je viens de rapporter l'expérimentation, dans les conditions où elle a été faite et entre les limites dans lesquelles ces conditions sont restées.

J'aurais voulu en agrandir le champ ; mais le colonel de Bange, directeur des Anciens Établissements Cail, qui en faisait les frais, l'a trouvé inutile pour lui, les résultats obtenus lui ayant paru suffisants pour le but qu'il se proposait.

III. — EXTENSION DES RÉSULTATS OBTENUS.

Rendement dynamique. — En dehors de ces limites, on ne peut évidemment admettre que le rendement dynamique final $\frac{T_s}{T_m}$, qui doit toujours être plus ou moins inférieur à 1, puisse conserver sa proportionnalité à la densité (δ) du fluide mis en mouvement par la rotation du ventilateur. Cette proportionnalité, qui s'est manifestée sensiblement dans mes expériences, prouve seulement que, avec le ventilateur que j'ai expérimenté, pour les valeurs de δ comprises entre 1,173 et 1,243 (en même temps que pour $g = 9,8088$), la tangente à la courbe de variation de $\frac{T_s}{T_m}$ avec δ passe, au moins à peu près et sensiblement, par l'origine des coordonnées (correspondant à $\delta = o$), en faisant avec l'axe des δ un angle variable, ainsi que la longueur de l'ordonnée, avec la grandeur superficielle de

l'ouverture d'admission de l'air devant l'ouïe, maximum quand cette grandeur superficielle est égale à 0,6 de celle de l'ouïe, et minimum quand elle est nulle, comme le fait voir la *fig.* 8 [tracée d'après les indications fournies par la courbe (1) de la *fig.* 7]. Mais $\frac{T_s}{T_m}$ ne pouvant, en aucun cas, atteindre la valeur 1, quelles que soient les valeurs simultanées de δ et de g, il en résulte que le coefficient de $g^{\frac{1}{2}}$ dans l'expression $\frac{T_s}{T_m} = g^{\frac{1}{2}}c$ doit rester toujours inférieur à $g^{-\frac{1}{2}}$ et par conséquent, dans le cas de $g = 9{,}8088$, inférieur à 0,32; d'où il résulte que la courbe représentative de ce coefficient c (fonction de δ) doit s'infléchir à peu près comme il est indiqué (en pointillé) dans la *fig.* 8 pour les valeurs de δ plus ou moins supérieures à celles de mon expérimentation.

Je ne puis d'ailleurs préjuger la forme qu'elle doit affecter pour les valeurs de δ inférieures à celles de mon expérimentation jusqu'à $\delta = o$; mais il me semble permis de penser que, au moins dans les conditions de la pratique et tant que le fluide mis en mouvement reste aériforme, elle ne doit pas s'éloigner beaucoup de la ligne droite passant par l'origine des coordonnées et doit, le plus probablement, avoir une forme comme celle également indiquée (en pointillé) dans la *fig.* 8.

Le rapport au travail moteur du travail du fluide avant sa sortie de l'appareil, particulièrement avant sa pénétration dans son intérieur tournant, et notamment à sa traversée d'une section droite quelconque de son trajet en avant de l'ouïe, sans être astreint partout, comme l'est $\frac{T_s}{T_m}$, à ne jamais dépasser 1, et le dépassant en effet, plus ou moins, dans certains cas, ne doit pourtant pas, sans doute, pouvoir dépasser jamais un certain maximum ; par con-

séquent on doit penser que ce rapport est aussi une fonction non proportionnelle à δ, dont les courbes de variation avec δ doivent probablement avoir des formes analogues à celles correspondant à la sortie du fluide mis en mouvement par le ventilateur (*fig.* 8), mais avec maximum plus élevé et minimum nul, limite inférieure correspondant au cas où l'orifice d'admission du fluide en avant de l'ouïe est nul.

Mais, dans ce cas, il y a travail maximum de l'air entrant par ailleurs, travail qui se produit encore dans les autres cas, et s'ajoute alors, pour former le travail total de l'air entrant dans le ventilateur, à celui qui se produit à l'entrée en avant de l'ouïe, mais de moins en moins à mesure que cette entrée grandit jusqu'à être devenue aussi ouverte ou plus ouverte que l'ouïe ; de sorte que le maximum de ce travail total de l'air entrant dans le ventilateur par toutes ses ouvertures et aussi son minimum sont plus grands (plus ou moins d'ailleurs) qu'à l'entrée en avant de l'ouïe.

Volume aspiré. — Quant au volume de fluide aspiré, son indépendance de δ, dans mes expériences, prouve seulement que, dans les circonstances où elles ont été faites et entre les limites de densité de l'air où elles sont restées, la tangente à la courbe représentative de la variation avec δ du coefficient (c_v) de son expression ($V = F^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} c_v$) est sensiblement parallèle à l'axe des δ ; mais il est certain qu'un liquide ne serait, toutes choses égales d'ailleurs, aspiré qu'en volume très considérablement moindre qu'un gaz et que, par conséquent, la courbe de variation avec δ du coefficient c_v doit aussi s'infléchir en s'abaissant très considérablement quand les valeurs de δ deviennent supérieures, au moins de beaucoup, aux densités des gaz. Je ne puis d'ailleurs dire de combien, ni à partir de quelles

valeurs de δ elle commencerait à le faire sensiblement.

Je ne puis dire non plus quelle doit être l'allure de la courbe pour les valeurs de δ inférieures à celles de mon expérimentation, ni vers quelle limite son ordonnée tendrait à mesure que δ s'approcherait de 0; mais il me semble encore permis de penser que, au moins dans les conditions de la pratique, tant que le fluide mis en mouvement reste aériforme, elle ne doit pas s'écarter notablement de la ligne droite parallèle à l'axe des δ, et que, par conséquent, le volume en reste sensiblement indépendant de δ. Alors, c'en serait le poids (et la masse) qui en varieraient proportionnellement à la densité δ (tant que le volume reste indépendant de cette densité).

Ce que je puis dire encore de son volume (et en même temps de son poids et de sa masse), c'est qu'ils doivent (probablement, ou au moins admissiblement jusqu'à preuve contraire), toutes choses égales d'ailleurs, rester toujours variables proportionnellement à $F^{\frac{1}{3}}$ (et en même temps son poids à $g^{\frac{1}{2}}$ et sa masse à $g^{-\frac{1}{2}}$).

Dépression. — Pour les dépressions, je crois pouvoir dire que, ne pouvant jamais être plus grandes que la pression du fluide avant qu'il soit aspiré, elles doivent toujours être nulles pour $\delta = 0$, et que, dès lors, s'étant manifestées sensiblement proportionnelles à δ dans mes expériences, elles peuvent bien l'être, au moins sensiblement, tant que le fluide aspiré est aériforme.

Mais, avec un fluide liquide, dont la densité est considérablement plus grande que celle des gaz, sans que la pression ait besoin pour cela d'être plus grande, la dépression doit certainement avoir cessé de rester proportionnelle à la densité du fluide, et doit être une fonction (dont je n'ai d'ailleurs aucune idée) de la pression, en même temps que de cette densité.

Enfin, les dépressions me paraissent devoir probablement rester, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelles à $F^{\frac{2}{3}}$, quelle que soit la force motrice F.

Vitesse de rotation. — Pour ce qui est de la vitesse de rotation du ventilateur, qui peut bien rester toujours proportionnelle à $F^{\frac{1}{3}}$, toutes choses égales d'ailleurs, elle pourrait bien rester aussi toujours proportionnelle à $\delta^{-\frac{1}{2}}$; car il est admissible qu'elle aille en diminuant, même en tendant vers 0, à mesure que la densité du fluide augmente, et aussi, si du moins on fait abstraction des résistances passives (*), qu'elle aille en augmentant, même en tendant vers l'infini, à mesure que δ diminue jusqu'à 0, ce qui correspondrait au vide absolu.

Il est donc admissible que la formule qui est résultée de mon expérimentation pour la vitesse de rotation du ventilateur puisse être tout à fait générale. Quoi qu'il en soit, elle peut certainement l'être pour tout fluide aériforme, de densité quelconque, et l'est, sans aucun doute, alors, dans toutes les conditions de la pratique.

IV. — COMPARAISON AVEC D'AUTRES VENTILATEURS.

Tout ce que j'ai formulé dans ce qui précède s'applique uniquement, à la rigueur, au seul ventilateur que j'ai expérimenté. Néanmoins on peut penser, il me semble, et admettre, au moins jusqu'à preuve du contraire, que, pour tout autre ventilateur centrifuge, non seulement du

(*) Ces résistances ne seraient plus alors d'ailleurs que celle du frottement de l'arbre du ventilateur sur ses tourillons, qui va en diminuant, tendant même peut-être vers 0, à mesure que la vitesse augmente (*Annales des Mines*, 1858, 2e livraison; 1861, 1re livraison : *Mémoires sur le frottement de glissement*).

même type avec des dimensions différentes, mais d'un autre type quelconque avec des dimensions quelconques, les lois de variation, avec F et δ, des différents résultats de leur fonctionnement, restent les mêmes, comme elles le restent certainement par rapport à g (pour la variation avec F, cela semble résulter de toutes les expériences faites, et est admis déjà ; pour la variation avec δ, cela me parait vraisemblable et admissible, tant que le contraire n'est pas prouvé).

Cela posé, j'aurais voulu rechercher ce qui advient, pour les ventilateurs centrifuges autres que celui dont j'ai fait l'expérimentation, relativement à la variation des résultats de leur fonctionnement avec celle de la grandeur superficielle de l'orifice équivalent.

Mais j'ai été arrêté dans cette recherche par l'incertitude qui existe, dans la plupart des nombreuses observations de fonctionnement de ces ventilateurs qui ont été relatées, sur la valeur même dudit orifice équivalent.

En effet, la formule en usage pour la détermination de cet orifice $\left(0{,}38 \,.\, V \partial^{-\frac{1}{2}}\right)$ suppose, en conséquence du raisonnement dont elle est tirée :

1° Que ∂ y représente la dépression produite dans une chambre d'aspiration de grandes dimensions qui serait intercalée entre le ventilateur et la mine, et où l'air serait sensiblement sans vitesse, de manière que cette dépression, uniforme dans les différentes parties de ladite chambre, fût bien seule motrice à l'exclusion de toute autre cause ou circonstance coagissante, pour l'air traversant la mine ou son orifice équivalent ; or les installations habituelles ne comportent pas semblable disposition, de sorte que les dépressions relevées sont la plupart du temps des moyennes plus ou moins arbitrairement faites entre les diverses valeurs constatées dans les galeries de section assez faible où l'air a une vitesse notable.

Dans de semblables conditions, les influences respectives du ventilateur et de la mine dans l'ensemble du phénomène ne sont pas nettement séparées, si bien que, dans une expérience comparative, faite en Angleterre avec trois ventilateurs (un Capell, un Guibal et un Waddle) essayés sur une même mine, l'orifice équivalent de cette dernière, calculé par la formule en usage, a été trouvé de trois grandeurs très notablement différentes : $0^{m2},51$ avec le Capell, $0^{m2},425$ avec le Guibal, $0^{m2},385$ avec le Waddle ;

2° Que l'intensité de la pesanteur, le poids spécifique de l'air aspiré et le coefficient de contraction de la veine fluide au passage par un orifice en mince paroi ont respectivement pour valeurs 9,81, — 1,2 et 0,65 ; or, si la première et même la seconde de ces trois valeurs peuvent être considérées comme des moyennes suffisamment approchées pour la pratique, il semble résulter de mes expériences, bien qu'elles n'aient pas eu un développement suffisant pour permettre d'en établir la loi rigoureuse, que le troisième coefficient est susceptible de variations d'assez grande amplitude, dépendant de la grandeur même de l'orifice équivalent, surtout lorsque ce dernier prend des valeurs très petites.

Sans contester l'intérêt de la notion de l'orifice équivalent pour la comparaison approximative des différentes mines entre elles, je pense en conséquence que la manière dont il est pratiquement déterminé en général ne permet pas de baser une comparaison suffisamment précise entre les valeurs pratiques de divers ventilateurs. Il serait nécessaire pour cela d'instituer des expériences directes de fonctionnement de ces appareils devant des orifices en mince paroi puisant l'air directement dans l'atmosphère libre et tranquille, soit suivant la disposition que j'ai moi-même adoptée, soit avec interposition d'une vaste chambre d'aspiration, ce qui pourrait donner, à certains points de vue, des résultats plus complets.

Parmi ces résultats, il n'y aurait pas lieu, me semble-t-il, de retenir le rendement mécanique, à moins qu'on ne l'évalue en comparant à la puissance motrice, mesurée sur l'arbre même du ventilateur, la demi-force vive de l'air *sortant* de l'appareil pour rentrer dans l'atmosphère libre et tranquille : il résulte en effet de mon expérimentation que, dans le ventilateur Capell qui y a été soumis, la demi-force vive de l'air mis en mouvement varie dans des proportions considérables d'un point à l'autre de son trajet, jusqu'à être dans certains points et dans certaines conditions fortement supérieure à la puissance motrice. Il est vraisemblable que pareil phénomène se produit aussi, avec plus ou moins d'intensité, dans d'autres ventilateurs centrifuges, et cette considération me paraît de nature à faire délaisser, pour ce qui concerne spécialement les appareils de ce genre, la notion du rendement mécanique, comme se rapportant soit à quelque chose de difficilement définissable avec précision, soit à quelque chose de totalement dépourvu d'intérêt pratique.

La dépression réalisée, qui devrait être mesurée dans une chambre d'aspiration de grandes dimensions où l'air pût être considéré sensiblement comme sans vitesse, ne constitue pas non plus un élément pratiquement intéressant; ce n'est, comme la vitesse de rotation du ventilateur, qu'un stade intermédiaire dans la production du phénomène cherché, qui est le débit d'air. La dépression ne serait, à ce point de vue même, vraiment intéressante à considérer que si, toutes autres choses égales d'ailleurs, elle était indépendante de la grandeur de l'orifice équivalent; or il est loin d'en être ainsi (*fig*. 4, Pl. XVII).

La véritable mesure de la valeur pratique d'un ventilateur résulte de la comparaison de la puissance motrice dépensée au volume d'air mis en mouvement et débité à travers des orifices équivalents de grandeurs diverses, autrement dit de l'établissement de la courbe dont les ab-

cisses sont les surfaces d'orifices et les ordonnées les valeurs de $V.F^{-\frac{1}{3}}g^{-\frac{1}{2}}$. Pour le ventilateur Capell que j'ai examiné, cette courbe a la forme tracée dans ma *fig.* 3, Pl. XVIII, et peut se représenter avec une assez grande approximation, pour les orifices équivalents inférieurs à la surface d'ouïe, par la formule :

$$c_v = 4x + 35x^2 - 150x^3,$$

dont j'ai tracé la courbe représentative en pointillé sur la même *fig.* 3.

La comparaison de courbes tracées par le même procédé pour d'autres ventilateurs permettrait de choisir, pour une mine donnée dont l'orifice équivalent aurait d'autre part été déterminé avec exactitude, l'appareil le plus économiquement avantageux, qui n'aurait sans doute pas toujours la même surface d'ouïe, et qui peut-être bien aussi ne serait pas toujours du même type.

Inversement un ventilateur déterminé, dont une expérimentation préalable aurait permis de tracer la courbe caractéristique, pourrait être utilisé pour apprécier la grandeur de l'orifice équivalent d'une mine donnée. Il suffirait pour cela de mesurer les valeurs simultanées de V et F (g étant supposé connu) dans une expérience (ou plusieurs, dont on prendrait la moyenne) d'aérage de la mine au moyen de ce ventilateur.

Au lieu de V, on pourrait se servir de la même manière de ω, à la condition d'avoir tracé la courbe analogue à celle de ma *fig.* 2, Pl. XVII et de prendre en même temps les mesures barométriques et autres permettant d'apprécier δ.

On pourrait aussi évaluer l'orifice équivalent, sans avoir à se préoccuper de la force motrice, au moyen de la vitesse de rotation ω et du débit V ; car, en éliminant F

entre les deux équations

$$\omega = c_\omega \,.\, F^{\frac{1}{3}} \delta^{-\frac{1}{2}} \text{ et } V = c_V F^{\frac{1}{3}} g^{\frac{1}{2}},$$

il vient :

$$c_V \,.\, c_\omega^{-1} = V \,.\, \omega^{-1} (g \,.\, \delta)^{-\frac{1}{2}},$$

de sorte qu'on peut obtenir la valeur de $c_V . c_\omega^{-1}$ sans connaître séparément c_V et c_ω, en relevant seulement dans une expérience les valeurs simultanées de V et de ω, et en tenant compte de celles de g et de δ. Si l'on a tracé expérimentalement au préalable la courbe des valeurs de $c_V c_\omega^{-1}$ correspondant aux différents orifices équivalents [soit directement, soit, comme je l'ai fait pour le Capell que j'ai expérimenté, au moyen des courbes déterminées séparément de c_ω (*fig.* 2, Pl. XVII) et de c_V (*fig.* 3, Pl. XVIII), ce qui m'a donné la courbe représentée par la *fig.* 9], en prenant l'ordonnée de cette courbe égale à la valeur trouvée de $c_V c_\omega^{-1}$, c'est-à-dire de $V.\omega^{-1}(g\delta)^{-\frac{1}{2}}$, on aurait, par l'abscisse correspondante, la grandeur superficielle de l'orifice équivalent.

Dans la méthode qui vient d'être indiquée, on pourrait d'ailleurs remplacer V ou ω par la dépression, mais en ayant soin de mesurer toujours cette dernière dans des conditions exactement comparables, par exemple dans une grande chambre d'aspiration intercalée entre l'ouïe du ventilateur et la mine.

Dans ce dernier cas, si l'on combine la mesure de δ avec celle de V, la détermination de l'orifice équivalent est indépendante des caractéristiques propres du fonctionnement du ventilateur lui-même ; elle pourrait résulter de l'application de la formule usuelle :

$$s = 0{,}38 V \delta^{-\frac{1}{2}}$$

ou mieux

$$s = 1{,}09 \,.\, \delta^{\frac{1}{2}} \,.\, g^{-\frac{1}{2}} \,.\, V \,.\, \partial^{-\frac{1}{2}} = 1{,}09 \,.\, y,$$

dans laquelle le coefficient α de contraction de la veine fluide est supposé constant et égal à 0,65. Mais, si l'on voulait tenir compte de la variation du coefficient α que laissent entrevoir mes expériences, il faudrait remplacer cette formule et la droite *oA* de la *fig*. 10 qui la représente par

$$s = \frac{1}{\alpha\sqrt{2}} \,.\, y$$

et par la courbe *omnp* de la même *fig*. 10. La différence entre les valeurs que l'une et l'autre formule conduisent à tirer d'une même détermination expérimentale des valeurs simultanées de V et ∂ atteint 60 p. 100 dans un sens pour les très petits orifices et 17 p. 100 dans l'autre sens pour les orifices de 15 à 20 décimètres carrés; on doit inférer de l'expérience relatée par Tresca que, pour des orifices de 1 mètre carré environ, cet écart ne se réduirait qu'à 12 p. 100.

Ces considérations me semblent faire ressortir l'intérêt que pourrait présenter la continuation d'expériences analogues à celles que j'ai été appelé à effectuer.

Dans ces expériences, on devrait déterminer avec précision, en même temps que la vitesse avec laquelle le ventilateur expérimenté a tourné, le volume d'air qu'il a débité dans l'unité de temps et la force motrice qui a directement agi sur son arbre, ainsi que les vraies grandeurs des orifices équivalents réels, non déduits de la formule en usage pour les évaluer, formule sur laquelle on ne peut compter pour donner ces vraies grandeurs, mais observés et constatés directement dans le dispositif des expériences, établi de manière qu'on le puisse, ainsi que je l'ai fait dans mon expérimentation. On devra aussi

tenir compte de la densité du fluide mis en mouvement par le ventilateur et de l'intensité de la pesanteur à l'endroit où l'expérience sera faite, ainsi qu'il a été dit ci-dessus.

Au moyen de courbes ou formules ainsi établies, on pourra, j'espère, résoudre, au moins avec une approximation suffisante pour la pratique, toutes les questions qui peuvent se poser pour le choix et l'emploi des ventilateurs centrifuges.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DES ÉTATS-UNIS EN 1904 ET EN 1905.

1° PRODUCTION DES MINERAIS ET MINÉRAUX.

SUBSTANCES	1904		1905	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALEUR
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Charbon. Anthracite	66.822.753	839.946.832	71.409.491	926.123.104
Charbon. Houille bitumineuse	251.298.483	1.614.438.582	281.206.864	1.833.782.098
Asphalte	77.216	5.613.986	168.433	8.119.116
Calcaire asphaltique	1.631	23.284	1.814	25.900
Grès bitumineux	17.814	370.189	33.132	605.464
Pétrole brut	15.077.769	524.063.014	20.213.901	615.932.189
Graphite cristallin	1.977	840.880	1.934	882.807
— amorphe	17.337	533.152	9.070	259.000
Minerai de fer	29.934.244	267.080.635	44.829.857	486.811.468
— de manganèse	461.854	4.087.704	(*) 461.854	(*) 4.087.704
— de chrome	125	9.537	152	11.655
— de tungstène	671	953.120	756	1.333.814
— de brome	309	1.115.933	412	722.257
— de zinc	628.577	62.530.142	721.098	80.789.747
Sulfate de cuivre	28.683	16.377.751	23.585	12.186.235
Couperose	15.379	615.825	19.140	765.195
Molybdénite	14	11.266	6	5.439
Pyrites	175.993	3.466.062	203.484	3.376.303
Soufre	196.588	20.045.774	225.712	25.236.960
Oxyde de cobalt	10	220.668	-	-
Bauxite	65.779	860.507	58.759	1.056.542
Sel	2.797.810	31.489.290	3.297.697	31.576.876
Monazite	338	140.497	614	849.043
Pierre à chaux et castine	11.827.551	25.360.348	14.121.568	34.909.056
Ciment naturel hydraulique	661.821	12.091.777	608.535	12.499.609
Ciment de Portland	4.559.012	120.972.546	6.737.395	172.031.389
Sable	778.858	5.425.829	816.300	4.495.800
Silex	47.409	521.056	46.388	539.285
A reporter	....	3.797.205.508	....	4.259.313.625

(*) Chiffres de l'année précédente.

SUBSTANCES	1904		1905	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALEUR
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Report.........	....	3.797.205.508	....	4.259.313.625
Ardoises pour toitures.....	»	24.186.917	»	23.896.169
Alundum..............	1.825	1.457.652	1.640	1.309.711
Phosphate de chaux.......	1.904.419	35.605.377	1.964.219	50.314.873
Gypse..............	853.412	14.422.800	»	»
Borate de chaux..........	41.402	3.619.836	»	»
Soude naturelle...........	10.884	93.240	10.884	93.240
Barytine..............	59.614	906.282	48.300	1.015.492
Magnésite..............	2.585	48.164	2.721	54.390
Amiante..............	1.342	133.333	2.812	654.234
Talc commun..............	24.656	2.244.655	36.401	3.299.981
Talc fibreux..............	58.053	2.628.332	60.769	2.429.420
Mica..............	(*) 1.297	623.237	(**) 1.406	631.960
Litharge..............	11.326	6.468.219	11.467	7.369.150
Spath fluor..............	33.062	1.216.031	45.658	1.530.669
Feldspath..............	40.986	1.379.569	32.125	1.171.493
Pierres précieuses.........	»	1.636.362	»	1.697.633
Ocre..............	22.491	1.353.529	22.675	1.398.600
Blanc de zinc..............	54.069	23.434.481	59.320	27.103.003
Zinc-plomb..............	6.150	2.458.791	6.330	2.797.200
Terre à foulon............	26.738	872.830	19.723	817.280
Emeri..............	1.752	296.477	2.100	101.927
Grenat..............	2.677	464.314	3.350	593.757
Pierre ponce..............	1.388	28.081	1.662	28.697
Terre à diatomées.........	5.690	228.770	9.956	334.820
Pierres à meules..........	»	4.759.721	»	4.224.704
Pierres à aiguiser.........	»	978.942	»	1.265.712
Quartz cristallin...........	28.955	386.428	17.268	456.451
Coke..............	19.986.010	280.642.118	25.762.530	374.432.866
Graphite artificiel.........	1.473	1.128.152	2.016	1.626.441
Acier en poudre............	358	286.454	369	294.431
Carborundum..............	3.203	3.657.277	2.540	3.106.073
Arsenic..............	452	152.831	701	260.165
Blanc de plomb...........	114.587	71.986.009	117.342	66.128.620
Rouge de plomb..........	12.642	8.663.907	14.755	9.944.393
Plomb orangé minéral.....	1.020	873.768	907	621.632
Ciment de laitier..........	52.124	1.174.052	69.376	1.412.140
TOTAUX..........	....	4.145.179.289	....	4.851.730.952

(*) Y compris 303 tonnes environ de mica en feuilles, à 1.871 francs la tonne.
(**) — 318 — — 1.800 —

2° PRODUCTION DES MÉTAUX.

SUBSTANCES	1904		1905	
	POIDS	VALEUR	POIDS	VALEUR
	tonn. métr.	francs	tonn. métr.	francs
Fonte	16.538.028	1.166.959.745	23.065.635	1.955.661.665
Ferro-manganèse	222.957	48.197.362	294.623	91.373.470
Cuivre	371.243	550.225.707	395.722	708.820.115
Plomb	274.099	134.907.614	292.484	157.252.896
Zinc	164.895	96.057.433	182.985	122.940.229
Mercure	1.199	7.716.729	1.064	6.160.160
Antimoine	2.655	1.931.922	2.684	3.184.913
Aluminium	3.900	12.830.860	4.540	16.576.000
Nickel	11	59.052	»	»
Argent (en kilogrammes)	1.797.148	173.612.559	1.832.376	185.707.947
Or d°	121.445	418.146.176	132,502	455.571.867
Platine d°	6,2	13.468	6,2	20.720
TOTAUX	....	2.610.658.627	....	3.703.269.982

RÉCAPITULATION.

	1904	1905
	VALEUR EN FRANCS	VALEUR EN FRANCS
1° Production des minerais et minéraux	4.145.179.289	4.851.730.952
2° Production des métaux	2.610.658.627	3.703.269.982
TOTAUX GÉNÉRAUX	6.755.837.916	8.555.000.934

(*Extrait de* The Mineral Industry, *Vol. XIV*, 1906.)

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE.

CORÉE.

LOI SUR LES MINES DU 29 JUIN-12 JUILLET 1906.

Les substances minérales auxquelles la loi doit s'appliquer doivent être désignées par une ordonnance spéciale (art. 1).

Tout individu qui désire exploiter une mine doit en demander

et en obtenir la permission du Ministre de l'Agriculture, du Commerce et de l'Industrie, après avoir établi l'existence de la substance minérale dans le périmètre sollicité par lui (art. 3). Ce périmètre ne peut avoir une étendue de moins de $16^h,5$ pour la houille (50.000 *tsubo*) ou de $1^h,65$ pour toute autre substance, ni plus de $330^h,5$, à moins de nécessité absolue pour la protection de l'intérêt minier public ou pour la fusion de plusieurs périmètres (art. 4). Le Ministre a le droit discrétionnaire de refuser la permission (art. 7), comme d'imposer des modifications à la délimitation choisie par l'intéressé (art. 9, § 2), ce qui atténue singulièrement la clause (art. 8) d'après laquelle, en cas de plusieurs demandes concurrentes, il est statué à la priorité de la demande.

Toute modification matérielle dans le périmètre exige l'autorisation du Ministre (art. 9), comme toute vente, cession ou engagement du droit (art. 10), sauf par héritage (*id.*).

Si le droit, dont la nature et les caractères juridiques ne sont du reste pas définis, est accordé sans limitation de durée, la déchéance — et la déchéance pure et simple — est prévue comme sanction d'à peu près toutes les dispositions de la loi. Elle est, en effet, stipulée (art. 12) :

A) Lorsqu'il est reconnu que la permission a été obtenue par des moyens frauduleux ou accordée par erreur;

B) Lorsque le travail a été suspendu pendant un an sans raison valable;

C) Lorsque l'intéressé ne s'est pas conformé aux ordres donnés par le Ministre, soit pour la modification du périmètre, soit pour remédier aux dangers que l'exploitation peut faire courir aux intérêts publics;

D) Lorsque les travaux sont considérés comme étant nuisibles pour ces intérêts;

E) Lorsque les terrains occupés pour l'exploitation de la mine ont été utilisés pour d'autres usages;

F) Lorsque la redevance proportionnelle ou fixe n'a pas été payée à l'échéance;

H) Lorsqu'une amende infligée n'a pas été payée à l'échéance (*).

Les exploitants peuvent occuper à la surface les terrains qui leur sont nécessaires en payant tous les préjudices qui peuvent en résulter pour les intéressés; ils doivent acquérir les terrains si l'occupation dure plus de trois années et si le propriétaire le

(*) La clause G répète sous une autre forme la clause F.

réclame (art. 14-16). Toutes les contestations relatives à ces occupations sont résolues par le Ministre (art. 17).

L'exploitant doit payer à l'État une redevance proportionnelle de 1 p. 100 du produit brut et une redevance fixe de 6 fr. 15 par hectare (50 *sen* par 1.000 *tsubo*), réduite de moitié pour la première année (art. 13).

Des amendes peuvent être imposées par le Ministre, à raison de 50 à 1.000 *yen* (125 à 2.500 francs), contre celui qui exploite sans permission ou par une permission obtenue par fraude (art. 22); de 20 à 500 *yen* (50 à 1.250 francs), pour violation des dispositions de la loi sur les distances à observer pour l'ouverture des travaux (art. 5 et 6), sur les travaux à effectuer pour assurer la sécurité (art. 13).

Lorsqu'une mesure quelconque doit être prise au regard d'étrangers, elle doit avoir reçu l'assentiment préalable du Résident général (art. 27).

Les étrangers détenteurs de droits miniers antérieurement à la présente loi seront soumis à ses dispositions pour autant qu'elles ne soient pas en opposition avec les clauses des concessions à eux faites (art. 30).

On reconnaîtra sans peine dans cette loi, avec une forme plus rudimentaire au point de vue juridique, plus sévère au regard des intéressés, plus arbitraire de la part de l'Administration, une inspiration de la loi japonaise du 7 mars 1905, que nous avons examinée (t. VIII, p. 332); toutefois la loi coréenne n'exclut pas en principe les étrangers et les sociétés étrangères comme la loi japonaise. Seulement l'institution du droit d'exploiter — je ne dis pas de la propriété de la mine — ne dépend que de l'arbitraire administratif; et, au regard des étrangers, le Gouvernement japonais, par l'intermédiaire de son Résident général, s'est réservé dans tous les cas la plénitude du droit de décision.

L. A.

LES CALCAIRES ASPHALTIQUES DU GARD (*)

Par M. P. NICOU, Ingénieur au Corps des Mines.

Les hydrocarbures peuvent se rencontrer dans la nature sous bien des formes ; mais, en France, on ne les connaît, ayant une importance industrielle réelle, qu'à l'état d'imprégnation dans les schistes ou les calcaires.

A la première catégorie appartiennent les schistes bitumineux d'Autun, de Buxière-la-Grue dans l'Allier, de Menat dans le Puy-de-Dôme ; ils servent pour l'obtention d'huiles minérales.

Les calcaires imprégnés, qu'on désigne sous le nom d'asphaltes, sont employés pour la construction de chaussées ou pour faire des revêtements ; nous citerons les gisements de Seyssel dans les calcaires urgoniens, d'Auvergne dans les calcaires oligocènes, et enfin ceux du bassin tertiaire lacustre du Gard, dont l'importance a été assez faible jusqu'ici, mais que des découvertes récentes semblent vouloir ranger parmi les gîtes les plus importants connus.

(*) Dans toute cette étude, nous avons eu fréquemment à mettre à contribution les notes et documents de notre prédécesseur au poste d'Alais, M. Defline ; les coupes de sondages insérées dans ce mémoire ont été relevées par MM. les Contrôleurs des Mines Roux et Deleuze ; les analyses ont été faites au laboratoire du Service des Mines d'Alais par M. le Contrôleur principal des Mines Coignard. Enfin, nous devons de nombreux renseignements à M. Léon Malo, ancien directeur des Mines et Usines d'asphalte de Pyrimont-Seyssel et de Servas, de « The Val de Travers Asphalte Paving Company Limited ».

La présente étude a pour but d'indiquer simplement les connaissances sur les asphaltes du Gard, au commencement de 1906.

CHAPITRE I.

USAGES DE L'ASPHALTE.

Avant de décrire les gisements asphaltiques du Gard, il n'est pas sans intérêt de donner quelques indications sur les emplois et le marché de l'asphalte.

L'asphalte est un produit principalement utilisé pour les travaux de voirie, soit qu'on s'en serve à l'état de mastic asphaltique pour les trottoirs, soit qu'on l'emploie à l'état de poudre pour la confection des chaussées en asphalte comprimé monolithe. Ses usages à l'état de comprimés pour dallages ou revêtements, ses emplois pour couvertures de maisons ou fondations, en particulier sous les machines à vapeur ou électriques, sont moins courants. L'asphalte armé, analogue au béton armé, sur l'importance duquel on ne peut rien dire encore, a fait récemment son apparition.

Le mastic asphaltique se prépare ordinairement en partant de roches pauvres ou irrégulièrement imprégnées, auxquelles on ajoute des quantités variables suivant la teneur de la roche, de bitume pur, ordinairement bitume de la Trinidad ou bitume provenant du traitement de sables bitumineux. Le procédé suivi aujourd'hui dans les usines du Gard et, en particulier, dans l'usine de Saint-Jean-de-Maruéjols, est le suivant :

On prend un calcaire asphaltique pauvre, provenant des débris du triage, dont la teneur en bitume ne dépasse pas 3 p. 100 ; le calcaire après broyage est mélangé dans des chaudières à malaxeur avec du bitume épuré ; ce

dernier est obtenu par quantités de 1.500 kilogrammes environ, au moyen de 1.900 kilogrammes de bitume brut de la Trinidad chauffé pendant vingt à vingt-deux heures à la température de fusion avec 320 kilogrammes de goudron de schistes d'Autun, ce qui laisse se déposer complètement les matières étrangères sableuses ou argileuses.

Les chaudières demi-cylindriques à malaxeur reçoivent, au début de chaque opération, une charge de 375 kilogrammes de ce bitume épuré, auquel on ajoute au fur et à mesure, après une heure préalable de cuisson, 2.750 kilogrammes de poussière asphaltique ; une fois l'incorporation et le malaxage terminés, ce qui demande sept heures, on laisse la cuisson se prolonger une heure et on coule en pains de 25 kilogrammes ; on a par opération environ 110 pains, soit 2.750 kilogrammes. La température moyenne des chaudières pendant toute cette élaboration ne doit pas dépasser 150° et reste ordinairement aux environs de 120°. Les pains obtenus, refondus avec une légère addition de bitume épuré et mêlés de 50 à 60 p. 100 de leur poids de gravier, sont étendus sur une aire de béton pour la confection des revêtements des trottoirs.

Les pains ainsi préparés tiennent, suivant les producteurs, des quantités variables de bitume ; on se tient ordinairement aux environs de 15 à 20 p. 100 ; les produits du Gard ont le plus souvent 16 p. 100. La ville de Paris exige une teneur entre 15 et 18 p. 100.

L'emploi du calcaire asphaltique à l'état de comprimés, soit pour revêtements, soit pour chaussées, ne nécessite pas une préparation aussi compliquée, mais exige par contre des qualités tout à fait particulières de la roche. Ainsi, si nous prenons le cahier des charges de la ville de Paris, nous verrons qu'il est exigé une roche homogène, de couleur brune, à grains fins, à texture assez serrée et régulièrement imprégnée de bitume pour ne pas

présenter de parties noires ou blanches, exempte de pyrite de fer et ne contenant pas plus de 2 p. 100 d'argile ou de matières étrangères, ayant au moins 5 p. 100 de bitume. La structure gréseuse, souvent rencontrée dans les gisements, ne donne pas à l'emploi une compacité suffisante. De plus, la ville de Paris n'admet, et ce à la suite de déboires, pour les roches destinées à la préparation de la poudre à comprimer, que les provenances du Val de Travers (Suisse), Ragusa (Sicile), Volant (Haute-Savoie), Pyrimont (Ain), Saint-Jean-de-Maruéjols et Mons (Gard), actuellement (*).

Le cahier des charges prévoit les conditions de fabrication suivantes : réduire la roche en poudre assez fine pour passer dans un crible à mailles de $0^{cm},25$; avoir une teneur finale en bitume comprise entre 6 et 13 p. 100, aucun produit entrant dans la fabrication ne tenant moins de 5 p. 100.

Le calcaire asphaltique pulvérisé remplissant ces diverses conditions est employé pour les chaussées de la manière suivante : on le porte à une température d'environ 110°, on l'étend sur une fondation en béton et on le comprime au rouleau ou au pilon ; l'effort de compression ordinaire est de 60 à 90 kilogrammes par centimètre carré. Le calcaire destiné aux comprimés d'asphalte reçoit une compression beaucoup plus grande, d'environ 600 kilogrammes par centimètre carré, au moyen de presses ; les comprimés obtenus sont utilisés comme des briques ou des dalles ordinaires.

La valeur d'un calcaire bitumineux semblerait devoir être proportionnelle à sa teneur en bitume ; mais l'expérience a prouvé que cette seule considération était insuffisante, et les clauses du cahier des charges de la Ville

(*) Pour le mastic asphaltique, la ville de Paris, outre les provenances précédentes, admet celles de Lovagny (Haute-Savoie), de Dallay et Pont-du-Château (Puy-de-Dôme).

de Paris montrent que la teneur de la roche est loin d'être un élément essentiel de sa valeur. C'est bien plutôt d'après les résultats fournis dans les applications que l'on doit apprécier une roche déterminée ; aussi, sur les marchés de Londres et de Berlin, qui sont les marchés européens de l'asphalte, on cote les *provenances*.

Les prix suivants s'appliquent (octobre 1905) aux principales mines réputées, pour du minerai rendu à Londres et par tonne anglaise de 1.016 kilogrammes :

Val de Travers.........	£2. 0.0
Ragusa................	£1. 7.6
Pyrimont-Seyssel......	£2. 0.0
Mons (roche striée).....	£1.15.0

Tous s'entendent pour des roches tenant au moins 8 p. 100 de bitume et propres à la confection des chaussées en asphalte comprimé.

CHAPITRE II.

ESQUISSE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION ASPHALTIQUE DU GARD.

Les manifestations hydrocarburées du bassin du Gard dont nous allons nous occuper sont presque exclusivement réparties suivant une bande dirigée à peu pres N.-25°-E., d'une longueur de 35 kilomètres environ sur une largeur qui, dans les connaissances actuelles, ne dépasse pas 2 kilomètres.

Deux groupes principaux peuvent, dès à présent, s'y distinguer :

Au Sud, celui des plus vieilles exploitations du bassin, concessions de calcaire asphaltique de Servas, Cauvas, le Puech et les Fumades; peu de travaux y ont été effectués ; — au Nord, séparé du premier par une distance de 8 ki-

lomètres, le groupe constitué par la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols et par les recherches faites autour d'elle.

En disant enfin qu'entre les deux premiers groupes quelques sondages ont été faits ou se poursuivent encore, qui ont trouvé plus ou moins de bitume, nous aurons esquissé rapidement la répartition des calcaires bitumineux dans le bassin du Gard (*).

Si l'on reporte sur une carte géologique les limites de la région dont nous venons de parler, nous verrons qu'elle est tout entière comprise dans ce que l'on appelle la formation lacustre du Midi, et plus particulièrement, dans cette dernière, dans le bassin tertiaire d'Alais.

Ce bassin tertiaire présente la forme d'une ellipse allongée, dont le grand axe pourrait avoir 60 kilomètres de long, tandis que le petit axe ne dépasserait pas 10. Son orientation est très sensiblement N.-E., et tous les terrains qu'il comprend ont une plongée ordinairement N.-O. — Il est limité vers l'Ouest par une grande faille très importante N.-20°-E., qui met en contact avec les dépôts tertiaires les terrains secondaires au-dessous desquels se trouve le bassin houiller d'Alais. A l'Est, au contraire, il repose sur les calcaires crétacé, urgonien, barrémien, etc., de la vallée du Rhône.

La formation lacustre qui nous occupe a été particulièrement étudiée par Émilien Dumas, qui, dans sa *Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du Gard* (1875), y distinguait trois sous-étages sous les noms d'uzégien, sextien et alaisien qui, pour lui, étaient tous de l'éocène. Depuis lors, l'éocène

(*) Comme autre manifestation bitumineuse dans la région, nous pouvons citer les schistes bitumineux de Vagnas, dans le département de l'Ardèche, à 10 kilomètres au Nord de la concession de Saint-Jean, d'âge de beaucoup antérieur, et dont nous parlerons dans une annexe.

a été subdivisé en éocène inférieur ou éocène proprement dit et en éocène supérieur ou oligocène. Les sous-étages d'Émilien Dumas ont disparu des cartes géologiques, et la feuille d'*Alais* de la *Carte géologique de France*, publiée en 1901, et à laquelle a principalement collaboré, pour le Gard, M. Fabre, Conservateur des Eaux et Forêts à Nîmes, distingue, dans le bassin tertiaire d'Alais, la série des niveaux suivants (*) :

I. **Éocène.** — On ne trouve que la partie supérieure de l'Éocène, c'est-à-dire du Lutétien, du Bartonien et du Ludien ; le Thanétien, le Sparnacien et l'Yprésien semblent manquer totalement. Les sous-étages existants ont, d'ailleurs, de rares affleurements dans la partie S.-E. du bassin ; ailleurs, ils sont recouverts par l'Oligocène.

§ 1. *Lutétien.* — Calcaire de peu d'épaisseur, grisâtre, 4 mètres au maximum.

§ 2. *Bartonien.* — Limons ou grès, que l'on rencontre à l'est de la concession de Servas, puissants quelquefois de 125 mètres.

§ 3. *Ludien.* — Calcaires en plaquettes très rares.

II. **Oligocène.** — L'Oligocène forme la partie dominante des affleurements du bassin tertiaire d'Alais ; on y distingue les deux sous-étages habituels, l'Aquitanien en haut et le Tongrien au-dessous. C'est dans la partie inférieure du Tongrien, dans l'Infratongrien, que se trouvent les gisements asphaltiques du Gard.

§ 1. *Tongrien.* — L'Infratongrien, qui comprend les dépôts asphaltiques, forme un système très complexe, puissant de 200 mètres au moins ; il se compose d'une alternance de calcaires, de grès et de marnes, dont le dépôt semble avoir eu lieu dans une lagune un peu saumâtre. On y a distingué trois niveaux :

(*) Voir la Pl. XIX.

1° L'INFRATONGRIEN INFÉRIEUR, succession de calcaires en plaquettes et de marnes feuilletées. Au-dessus sont des calcaires compacts comme à Barjac, ou des marnes jaunes comme à Servas ;

2° L'INFRATONGRIEN MOYEN, sables et argiles pyriteuses, puissant au Sud du bassin, disparaissant au Nord de Saint-Jean-de-Maruéjols, vers Barjac ;

3° L'INFRATONGRIEN SUPÉRIEUR peut se subdiviser lui-même en trois sous-niveaux, avec, au milieu, l'horizon des lignites de Barjac, Avéjan et Célas, qui donnent lieu à de petites exploitations ; l'horizon inférieur serait constitué par des calcaires développés surtout dans la partie Nord du bassin (région de Saint-Jean-de-Maruéjols), peu importants au Sud (Servas) ; l'horizon supérieur comprend des marnes et des calcaires très développés à Saint-Jean-de-Maruéjols.

Le TONGRIEN SUPÉRIEUR, très puissant, puisqu'il atteint couramment 3 à 400 mètres, affleure presque toujours à l'Ouest de la zone asphaltique actuellement reconnue ; ce sont des alternances de poudingues, de conglomérats et de limons.

§ 2. *Aquitanien.* — L'Aquitanien forme une longue bande, le long de la faille qui limite à l'Ouest le bassin tertiaire d'Alais ; il est formé de marnes et de calcaires.

CHAPITRE III.

HISTORIQUE DE L'ASPHALTE DANS LE GARD.

Le bitume semble avoir été connu depuis longtemps dans le Gard. Buffon le cite dans son *Histoire des Minéraux*, et il semble qu'à cette époque la poix minérale était surtout employée par les paysans de cette région pour le traitement de certaines affections des bestiaux.

C'est probablement à cet usage qu'il faut attribuer le fait que, dans les ordonnances ou décrets instituant les concessions dont nous parlerons, il est parlé d'une redevance proportionnelle tréfoncière aux propriétaires du sol (*).

Les premières concessions de *bitume* furent instituées par les ordonnances royales du 17 février 1844; ce furent celles de Cauvas, des Fumades (**) et du Puech, aujourd'hui inexploitées, et de Servas, la seule exploitée encore, et qui obtint une extension de périmètre le 4 mars 1862; les superficies respectives actuelles sont de 358, 343, 250 et 895 hectares. Cauvas et le Puech n'ont, pour ainsi dire, jamais donné lieu à travaux depuis leur institution ; les Fumades furent le siège, pendant une vingtaine d'années, de 1872 à 1892, d'une exploitation assez notable, après quoi la mine fut abandonnée. Seule, la concession de Servas, où le gîte était plus favorable, est restée continuellement en activité.

La concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, située au Nord des quatre concessions précédentes, au Sud de celle de Vagnas, et qui, de toutes les concessions d'asphalte, a été jusqu'ici et d'une façon incontestable la plus importante, date du 4 juin 1859; une demande d'extension du périmètre fut rejetée le 11 septembre 1874, les recherches qui l'avaient motivée étant par trop sommaires. Les travaux entrepris en dehors du périmètre concédé en 1894 ne donnèrent guère de meilleurs résultats, et l'on peut dire que rien, avant 1902, ne permettait de prévoir l'extension du gîte de Saint-Jean.

Mais, à partir de cette date, la région de Saint-Jean devint le siège d'une activité inaccoutumée pour la recherche du bitume. Trois sociétés se livrèrent à une

---

(*) Cette redevance particulière a disparu dans le décret du 11 août 1906, instituant la concession de Fontcouverte.

(**) Pendant l'impression de cette note, un décret du 11 août 1906 a accepté la renonciation à la concession des Fumades.

série de sondages ou de reconnaissances pour calcaire asphaltique.

C'était tout d'abord une société française, la Société des mines de bitume et d'asphalte du Centre, qui possédait déjà dans le Gard la concession des Fumades, mais dont les seuls travaux en cours se faisaient dans ses concessions du Puy-de-Dôme et de l'Ain. C'étaient ensuite deux Sociétés : l'une, The Val de Travers Asphalte Paving Company Limited (*), avait amodié les concessions du Puech, de Servas et de Cauvas ; l'autre, The Société française des Asphaltes Limited, était devenue propriétaire de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, dont elle désirait l'extension.

Les travaux effectués par ces trois sociétés concurrentes aboutirent à des demandes de concession, l'une en date du 1er juillet 1903 de la Société Val de Travers, l'autre en date du 29 juillet 1903 de la Société du Centre, enfin la troisième en date du 29 septembre 1903 de la deuxième société anglaise. Tous les travaux avaient porté sur une région située au Nord de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, mais au Sud du ruisseau de Malaygue (**).

Le dépôt de ces trois demandes n'arrêta pas les recherches ; le Val de Travers attaqua l'exploration de la région Ouest de Saint-Jean ; la Société française limited continua ses sondages au Nord. De nouveaux chercheurs se joignaient aux précédents. M. Silhol attaquait, au Sud de Barjac et au Nord de la Malaygue, un sondage en 1905 ; M. Barillon entamait une campagne, fort au Sud des autres, au Nord de l'ancienne concession du Puech, vers Auzon et Allègre, puis, plus au Nord, à l'Ouest de Saint-

(*) Qui possède des gisements à Seyssel (Ain).

(**) Pendant l'impression de cette note, des décrets intervinrent, rejetant les demandes des deux Sociétés anglaises et accordant au Centre la concession dite de Fontcouverte, de 360 hectares (11 août 1906).

Jean. La Société française du Centre poursuivait des galeries de reconnaissance dans une couche trouvée au Sud du village d'Avéjan.

CHAPITRE IV.

ÉTUDE DES DIFFÉRENTES CONCESSIONS DE CALCAIRE ASPHALTIQUE (*).

I. — CONCESSIONS DE CAUVAS ET DU PUECH (**).

Ces deux concessions, instituées, comme celle de Servas, par l'ordonnance royale du 17 février 1844, sont actuellement amodiées, comme elle, à The Val de Travers Asphalte Paving Company Limited, dont de très importantes exploitations en France se trouvent dans la région de Pyrimont-Seyssel (*fig*. 1).

La concession du Puech, d'une étendue de 250 hectares, présente en quelques points de maigres affleurements bitumineux dans des marnes ou des calcaires, affleurements qu'on n'a d'ailleurs jamais essayé de reconnaître un peu sérieusement; la concession voisine de Servas a fourni en ces dernières années assez de minerai pour les besoins de la Société amodiataire pour qu'elle ne se préoccupât pas de faire des recherches au Puech.

Le seul travail sérieux qui y a été fait l'a été en 1856; il consiste en une tranchée dans un banc de mollasse calcaire grise; l'affleurement était orienté au N.-10°-E., plongeait à 30° vers l'Ouest, ayant ainsi la direction des formations lacustres dans lesquelles il était interstratifié;

(*) Dans toutes les coupes ci-après, les hachures espacées à 1/2 millimètre représentent des roches à teneur supérieure à 10 p. 100 de bitume; celles à 1 millimètre, des roches entre 5 et 10 p. 100; celles au-dessus, des roches inférieures à 5 p. 100.

(**) Voir la *fig*. ci-jointe.

FIG. 1. — Concessions du Sud.

il a pu être extrait 4 à 500 tonnes de ce travail, consistant en minerais pauvres.

La concession de Cauvas, d'une étendue de 362 hectares, dont le gisement semble se présenter, comme au Puech, superficiel et peu puissant, a pourtant déjà donné lieu à quelques travaux vers 1877 et en 1901. En 1877, on explora, sans résultats bien nets, un banc de calcaire gréseux, à apparence de mollasse, assez faiblement imprégné sur une hauteur de 1 mètre, et inutilisable pour asphalte comprimé, non loin du mas Chabert : ce banc présentait plusieurs particularités. D'abord il paraissait, par sa position, être à un niveau tout à fait supérieur de l'Infratongrien, donc à un niveau différent des bancs asphaltiques ordinaires, qui sont plutôt à la partie inférieure de l'Infratongrien ; ensuite, il avait une direction à peu près normale à celle des bancs tertiaires de la région, étant orienté N.-80°-O. avec plongée au Nord.

En 1901, on fit quelques puits pour voir si cette couche se prolongeait sous les terrains de recouvrement et quelques descenderies sur un autre affleurement au mas de la Sorbière. On connaissait, en ce dernier point, reprenant la direction habituelle et au-dessous de l'horizon des asphaltes cités en premier lieu, une imprégnation bitumineuse dans des calcaires vacuolaires. Mais ni ces puits ni ces descenderies ne furent poussés de façon bien sérieuse, puisqu'on ne fit guère en tout plus d'une vingtaine de mètres.

Nous devons encore signaler dans la concession de Cauvas l'existence d'un affleurement bitumineux beaucoup plus beau que les précédents, mais que l'on ne peut songer à exploiter, à cause de la proximité des sources bitumino-sulfureuses des Fumades.

On peut donc dire que les concessions de Cauvas et du Puech sont encore à explorer ; les affleurements y sont sans doute peu nombreux et moins beaux qu'ailleurs,

mais rien ne permet encore d'affirmer qu'il n'y ait rien d'exploitable. Aujourd'hui que le gite de Servas à Mons semble s'épuiser, que des travaux en d'autres points de cette concession n'ont pas été encourageants, peut-être fera-t-on quelques recherches au Puech et à Canvas. Cela rentre d'ailleurs dans les projets de la Société amodiataire.

II. — CONCESSION DES FUMADES.

La concession des Fumades, instituée, elle aussi, le 17 février 1844, a été exploitée entre 1872 et 1892; elle appartient aujourd'hui à la Société des mines de bitume et d'asphalte du Centre, qui n'y a plus fait aucun travail depuis 1892 et qui a demandé, le 13 mars 1905, à y renoncer, à la suite de sa demande en concession dans la région de Saint-Jean-de-Maruéjols (*).

Le bitume se trouve aux Fumades à l'état d'imprégnation dans une formation calcaire gréseuse, dont l'âge, d'après M. Parran, serait plus récent que celui des calcaires de Saint-Jean-de-Maruéjols. Le minerai est utilisable pour mastic, impropre aux emplois comme poudre comprimée. Il a été exploité partie en galeries, partie à ciel ouvert en deux points. En un premier, au Sud du chemin de Servas à Auzon, à 100 mètres au Sud de son croisement avec celui du mas Chabert à Navacelles, on a eu des résultats négatifs, on avait fait une trentaine de mètres de galeries. En un second, qui a constitué le vrai point d'attaque du gisement à 1.200 mètres au Sud du mas Chabert, on fit une exploitation à ciel ouvert et une centaine de mètres de puits et galeries.

Ces derniers travaux et, en particulier, un puits dont la coupe sera donnée plus bas, ont permis de reconnaître

(*) Demande acceptée par décret du 11 août 1906.

jusqu'à dix bancs minéralisés sur une épaisseur de 10 mètres environ comptée normalement aux strates. Neuf de ces bancs étaient exploitables ; mais le gîte était véritablement haché par une série de rejets, sans direction générale, et l'on ne pouvait pratiquer, dans les travaux, aucune méthode régulière. De plus, le champ reconnu était limité au Nord et au Sud par deux failles presque parallèles N.-60°-E. et N.-60°-E., qu'on n'avait pas cherché à dépasser et distantes d'environ 100 mètres ; vers l'Ouest, le gîte affleurait et, à l'Est, les galeries de reconnaissance furent arrêtées par les eaux.

La coupe du puits, signalé plus haut, était la suivante :

Couche	Teneur			
		à partir du jour		terre végétale ;
		à partir de	$2^{m},50$	grès calcaires jaunes à grains grossiers, à coquilles nombreuses ;
		—	$3^{m},50$	calcaires blanchâtres marneux ;
		—	$4^{m},10$	grès jaunes analogues aux précédents ;
		—	$5^{m},10$	calcaires et marnes blanchâtres ;
		—	$7^{m},00$	marnes noires pourries ;
I		—	$7^{m},45$	calcaire asphaltique inexploitable et calcaire marneux ;
II	8,2 p. 100	—	$8^{m},00$	grès et calcaire fin, imprégnés irrégulièrement ;
		—	$10^{m},00$	calcaires marneux blanchâtres ;
III	7,3 p. 100	—	$11^{m},25$	calcaire asphaltique rubané ;
		—	$11^{m},55$	marnes tendres ;
IV	14,8 p. 100	—	$11^{m},85$	grès grossier asphaltique ;
		—	$12^{m},15$	marnes noires ;
V	8,5 p. 100	—	$12^{m},35$	grès asphaltique très fin ;
		—	$12^{m},50$	marnes ;
VI	10,5 p. 100	—	$12^{m},70$	grès fins, irrégulièrement imprégnés ;
VII	6 p. 100	—	$13^{m},80$	calcaire asphaltique dur ;
		—	$14^{m},20$	marnes à rognons de calcaire asphaltique ;
VIII	13,5 p. 100	—	$15^{m},00$	grès moyennement imprégné ;
		—	$15^{m},40$	calcaire siliceux ;

Couche	Teneur		
IX	11 p. 100	à partir de 15m,60	calcaires tendres rubanés ;
		— 16m,80	marnes ;
X	8 p. 100	— 17m,90	calcaire imprégné irrégulièrement sur 2m,50.

Les bancs étaient inclinés d'environ 25° avec plongée vers l'Ouest comme les assises lacustres. La roche, aux parties exploitables, présentait une minéralisation irrégulièrement répartie, et les couches étaient fréquemment stériles ; à des parties riches succédaient presque sans aucune transition des parties absolument pauvres. Il faut

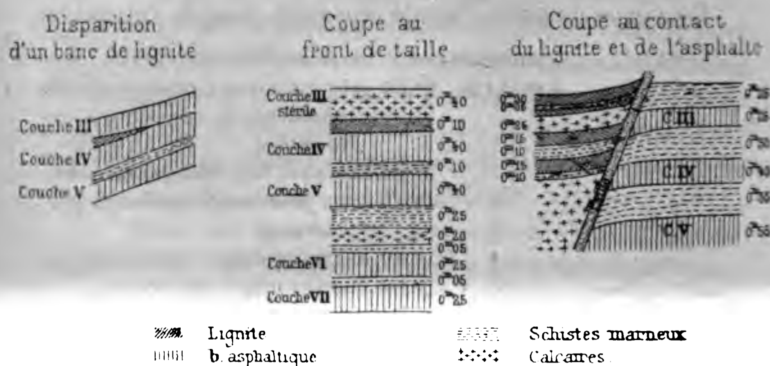


Fig. 2. — Coupes aux Fumades.

aussi signaler, et nous retrouverons également cette particularité à Saint-Jean-de-Maruéjols, mais d'une façon moins accentuée, des bancs de lignite qui venaient s'intercaler souvent dans les bancs asphaltiques ; on a même eu aux Fumades de vraies couches de lignite, mais non plus alors directement en relation avec les bancs d'asphalte. Les trois coupes de la *fig.* 2 montrent ces deux faits.

Les difficultés de l'exploitation dans un gîte si mouvementé à tous les points de vue firent que la production fut toujours très faible, atteignant en tout de 1872

à 1892, date de l'arrêt des travaux, 5.000 tonnes réparties ainsi :

1872......	300 tonnes	1884......	83 tonnes
1874......	250	1885......	556
1875......	400	1886......	497
1876......	494	1887......	57
1877......	207	1888......	422
1878......	217	1889......	54
1880......	303	1890......	209
1881......	310	1891......	265
1882......	301	1892......	97

La roche extraite était employée à la confection de mastic asphaltique dans une petite usine installée à Salindres (aujourd'hui arrêtée), qui produisait environ 3 à 400 tonnes de produits par an dans les années où la mine était en activité. Le mastic était composé de 90 p. 100 de roche triée des Fumades et de 10 p. 100 de ce qu'on appelait le raffiné, obtenu par la déshydratation et l'élimination des matières étrangères d'un mélange de 67 de bitume de la Trinidad et 33 de goudrons de schistes bitumineux d'Autun.

III. — CONCESSION DE SERVAS.

La concession de Servas est, jusqu'ici, la seule qui ait été activement exploitée dans la partie Sud du bassin asphaltique tertiaire d'Alais. De nombreuses attaques ont été faites dans les affleurements minéralisés, et l'on peut se rendre compte, en regardant la *fig.* 1, que tous ces affleurements dessinent une ligne sensiblement N.-25°-E., qui est la direction générale des couches tertiaires de la région. Nous dirons quelques mots des divers travaux effectués en couche, en partant de la partie Nord de la concession, et nous nous étendrons un peu plus longue-

ment sur l'exploitation du quartier de Mons, le plus méridional et le plus important.

Tout au Nord, près de la Sorbière, déjà signalée dans l'étude de Cauvas, une partie très bouleversée du gisement a donné un millier de tonnes. Une épaisseur de calcaires imprégnés de 2 mètres était connue un peu plus au Sud, tout auprès du château de Servas; mais la minéralisation s'est vite amoindrie, et, comme le précédent, ce travail a été abandonné. L'affleurement bitumineux se poursuit vers le Sud en passant par les travaux souterrains de Sainte-Claire, qui ont consisté en un travers-bancs de reconnaissance de 50 mètres de longueur environ E.-O.; l'orientation des bancs y est environ N.-15°-E., et trois couches minéralisées ont été rencontrées, la première à l'origine même de la galerie, la seconde à 35 mètres, la troisième à 50; l'épaisseur exploitable variait de 1m,50 à 2 mètres, suivant les couches; le pendage était assez fort, 30° O., le tertiaire lacustre étant là légèrement redressé; quelques traçages remontant jusqu'au jour ont été faits dans les seconde et troisième couches; le bitume se rencontrait surtout en globules, remplissant des vacuoles du calcaire et suintant de la roche dans les périodes chaudes. Tous ces travaux ont été abandonnés, à cause de l'irrégularité de l'imprégnation et du peu de continuité des couches.

Au Sud du château de Servas, et au S.-E. des travaux Sainte-Claire, se trouve un mamelon où de nombreux affleurements bitumineux sont connus; bien que les terrains soient affectés en cet endroit par de nombreuses failles, il semble qu'on puisse y affirmer la présence de deux ou trois couches qui correspondraient à celles de la galerie Sainte-Claire; leur direction et leur pendage sont très sensiblement les mêmes; les toits sont constitués suivant les couches par des calcaires fissiles ou des calcaires compacts; la puissance de la seule couche explorée

était de $1^m,50$ avec minéralisation semblable à Sainte-Claire. Les eaux ont empêché de poursuivre les travaux.

Des tranchées vite abandonnées à cause de la pauvreté du gîte jalonnent vers le Sud la direction générale des affleurements bitumineux, et on arrive ainsi au Vallat de la Pègue (ou ruisseau de la Poix), où des travaux assez importants ont été effectués. Ils ont consisté en une longue tranchée prise le long de l'affleurement et où l'on a reconnu environ $1^m,50$ de calcaire exploitable pour mastic, de mauvaise qualité pour comprimés; au-dessous de cet affleurement, des travaux en descente ont été entrepris en couche sur une hauteur d'une vingtaine de mètres ; un travers-bancs inférieur avait retrouvé à une vingtaine de mètres du jour la couche qu'on avait explorée à droite et à gauche ; au début on avait eu du très beau minerai sur une épaisseur de 3 mètres, mais on était tombé d'un côté, au bout de 7 mètres, sur des marnes où la couche finissait par tomber à 0, de l'autre vers l'Ouest, après 19 mètres, également sur des marnes qui avaient arrêté aussi la couche. La descente poursuivie au-dessous du travers-bancs n'avait pas été plus heureuse et, à 26 mètres du jour, était aussi entrée dans les marnes. Il semblait donc qu'on avait encore ici une imprégnation très limitée, une sorte de lentille minéralisée. Le calcaire était, de plus, très irrégulièrement bitumineux ; on avait plutôt un remplissage de fentes ou de cavités dans le calcaire par du bitume qu'une véritable imprégnation de la masse. Le bitume suintait dans les galeries, surtout lors des chaleurs, et le nom de Vallat de la Pègue donné au ruisseau près duquel se trouvaient les travaux doit probablement son origine à un fait analogue constaté par les anciens. La direction générale était N.-15°-O.; l'inclinaison, assez forte, atteignait 45° O. Les travaux, aujourd'hui abandonnés, ont donné plusieurs milliers de tonnes de produits à teneur variant de 3 à 16 p. 100, en moyenne 7 à 8.

Tous les travaux que nous avons décrits jusqu'ici, soit dans la concession de Servas, soit dans celles de Cauvas ou du Puech, n'ont trouvé que des gisements interstratifiés superficiels, qui, peu après les affleurements, s'appauvrissaient rapidement et devenaient inexploitables. Tous dans des régions plus ou moins troublées, on les constatait à proximité de la faille sensiblement N.-S. qui va d'Auzon à Mons et qui affecte le lacustre de cette partie du bassin. Le quartier de Mons, qu'il nous reste à décrire maintenant dans la concession, nous donnera le premier exemple d'un gite un peu plus étendu, quoique de dimensions encore relativement faibles.

L'extension de la concession de Servas, qui avait été portée d'une superficie primitive de 663 hectares à une totale de 895 hectares par le décret du 4 mars 1862 et qui affectait des terrains au Sud de Servas, était la suite de reconnaissances d'horizons asphaltiques, en particulier près de Mons. Mais on ne commença de travaux sérieux en cet endroit que vers 1890. La Compagnie générale des Asphaltes de France, qui fut amodiataire à partir de 1891, chercha tout d'abord à se rendre compte de la valeur des affleurements de Mons, où l'on connaissait un banc de calcaire bitumineux de $1^{m},50$ à 2 mètres de puissance, orienté N.-10°-E. et de plongée 30° à l'Ouest, dans des calcaires compacts au-dessous de calcaires fissiles : ce banc avait été reconnu sur une longueur de 150 mètres environ à flanc de coteau et sur 15 mètres suivant la pente, distance à laquelle une faille le rejetait on ne savait trop où. On fit donc dans la direction où plongeaient les couches une série de petits sondages à main, qui trouvèrent, à des profondeurs faibles au-dessous des terrains de recouvrement, le prolongement de l'horizon minéralisé. De bons résultats ayant été obtenus, on entama la mise en exploitation de ce nouveau gite.

La formation asphaltique de Mons repose sur le cal-

caire néocomien à Spatangues avec intermédiaire d'un conglomérat à galets néocomiens ; elle est puissante de 4 à 15 mètres et est surmontée par des argiles et des calcaires et enfin par un étage supérieur où, au milieu d'argiles et de marnes, se trouvent les couches de lignite de Celas à Anoplotherium (*fig.* 2 *bis*).

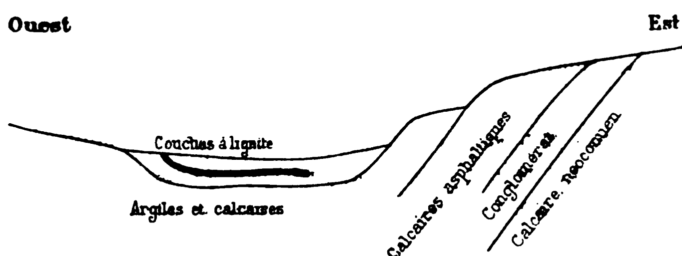


Fig. 2 *bis*. — Coupe de la région de Mons.

Dans l'horizon asphaltique de Mons, on connaît trois zones bitumineuses, dont les épaisseurs moyennes sont, en allant de haut en bas, 2^m,20, 0^m,80 et 2 mètres, soit 5 mètres minéralisés. La couche du milieu, peu riche, ne paraît généralement pas exploitable et n'a fait l'objet d'aucun travail important ; il n'en est pas de même des deux autres couches : celle du toit, dite couche brune ; celle du mur, dite couche noire.

Les couches affleurent sur une colline près de Mons à la cote de 200 environ ; leur plongée est O.-N.-O., et leur pente, d'abord assez forte, 25 à 30 p. 100 jusqu'au niveau 140, diminue ensuite et tend vers zéro ; elles sont affectées par deux séries de rejets, les uns sensiblement dans la direction des couches, les autres perpendiculaires.

Les couches sont assez variables, à la fois comme ouverture et comme minéralisation ; l'ouverture oscille entre 1^m,50 et 3^m,50, chaque couche se composant d'une alternance de bancs stériles ou peu minéralisés et de bancs beaucoup plus riches, dont l'épaisseur peut varier de

quelques millimètres à 2 mètres. Certaines parties présentent une allure striée caractéristique, due à une série de bancs peu épais, bitumineux, interstratifiés dans la roche calcaire (*fig.* 3).



Fig. 3. — Roche striée.

La couche noire a été prise à peu près complètement depuis l'affleurement (*fig.* 4) jusqu'au niveau d'accès ou de roulage (164 m.), sur une longueur de 200 mètres suivant la direction générale des bancs et 250 mètres suivant la pente ; des rejets ou des appauvrissements de la couche ont limité l'exploitation dans le sens de la direction. —

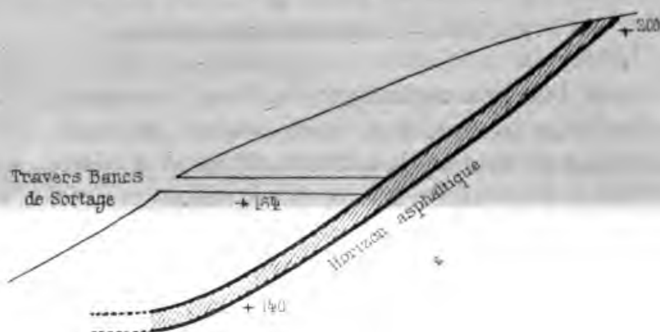


Fig. 4. — Mine de Mons.

En aval-pendage de 164, les travaux ont surtout porté sur la couche brune jusqu'à 140, et on commence l'aménagement à cet étage de la couche noire. On n'a pas exploré les couches au-dessous de ce niveau, et on ne connait rien sur le prolongement du gite, qui parait pourtant s'appauvrir en profondeur.

L'exploitation se fait par piliers abandonnés de 2 mètres à 2^{m},50 de côté ; on ne laisse que 25 p. 100 du gite ; les vides sont partiellement remblayés avec les stériles

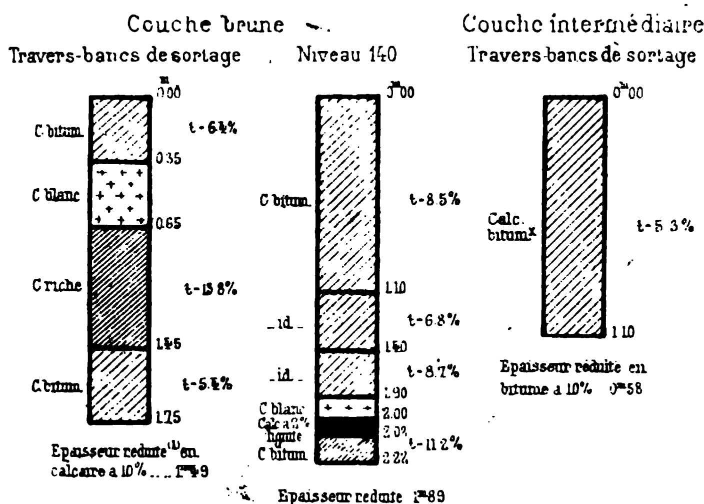


Fig. 5. — Couches brune et intermédiaire.

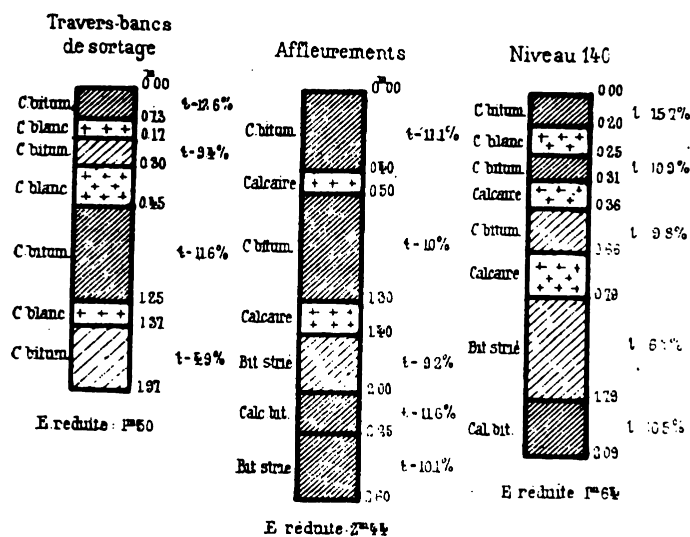


Fig. 6. — Couche noire.

triés au chantier. L'abatage se fait à la poudre noire, et le forage des trous de mine se fait avec une sorte de tarière, vu le peu de dureté de la roche.

Nous donnons ci-contre des coupes des diverses couches brune, noire et intermédiaire (*) (*fig.* 5 et 6).

Une coupe de l'horizon asphaltique dans le travers-bancs de sortage serait donnée, perpendiculairement aux bancs, par la *fig.* 7.

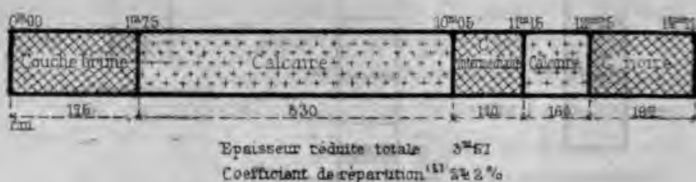


FIG. 7. — Horizon asphaltique à Mons.

La concession de Servas a produit de l'asphalte presque sans interruption depuis son institution ; sa production moyenne peut être estimée à 600 tonnes de qualités diverses, les unes traitées dans une usine pour mastic et comprimés à Alais, les autres plus riches expédiées principalement vers l'Angleterre, pendant la période 1844-1890 ; l'extraction a atteint 4.600 tonnes annuelles entre 1891 et 1895, et est tombée ensuite à 3.300 tonnes depuis 1896. La concession a donc produit, depuis son origine, environ 80.000 tonnes de minerai.

Pour les six dernières années, la répartition en catégories se fait de la façon suivante :

(*) L'épaisseur réduite en calcaire à 10 p. 100 sera l'ouverture qu'aurait une couche à cette teneur contenant autant de bitume que la somme des divers bancs minéralisés d'une même couche.

	ROCHE.				TOTAL
	1er choix à 12-13 p. 100	2e choix à 10-11 p. 100	3e choix à 8-9 p. 100	pauvre à 4 à 6 p. 100	en tonnes
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1900.......	1.611	1.728	214	»	3.593
1901.......	1.111	937	871	»	2.919
1902.......	1.168	306	1.539	167	3.180
1903.......	719	563	1.963	322	3.567
1904.......	380	1.206	564	124	2.274
1905.......	16	363	880	202	1.461

La production faible de 1904 et 1905 est due à un arrêt momentané des travaux causé par les eaux ou au ralentissement des dépilages, dans la couche du toit, à cause de son épuisement. Des reconnaissances étaient, cependant, faites par galeries d'affleurements ou sondages peu profonds sur les couches bitumineuses, à 1 kilomètre au Sud de Servas, jadis explorées, comme nous l'avons vu : les résultats paraissent peu concluants sur l'exploitation possible de ce gisement.

IV. — CONCESSION DE SAINT-JEAN-DE-MARUÉJOLS.

La concession de Saint-Jean-de-Maruéjols (*fig.* 8), instituée par le décret du 4 juin 1859, porte sur une étendue de 284 hectares ; elle est située très au Nord des concessions déjà précédemment étudiées, puisque, comme nous l'avons dit, il y a près de 8 kilomètres entre le Puech et Saint-Jean.

Le gisement exploité à Saint-Jean-de-Maruéjols appartient, comme celui de Mons, à l'Infratongrien ; il a été exploité d'abord à partir des affleurements par galeries et descenderies ; l'approfondissement des travaux a néces-

(*) Le coefficient de répartition sera le rapport de l'épaisseur réduite à la hauteur de la couche minéralisée.

sité, depuis quelques années, le forage d'un puits par où sort actuellement tout le minerai.



Fig. 8. — Carte des concessions du Nord et des sondages.

Une coupe moyenne du gîte aux affleurements était la suivante : un calcaire marneux peu solide surmontait un banc de $0^{m},30$ environ d'un calcaire bitumineux assez riche et solide que l'on a dû conserver comme toit dans

les travaux d'exploitation pour éviter des boisages trop coûteux ; ensuite venaient 0^m,45 d'asphalte de première qualité (roche striée principalement) à 12-13 p. 100 de bitume, séparés par 0^m,55 d'un calcaire marneux et gréseux pauvrement imprégné, d'une formation asphaltique moins riche que la première (roche ordinairement régulièrement imprégnée dans toute sa masse), mais donnant du minerai à 7-8 p. 100 dit de deuxième qualité, sur une épaisseur de 1^m,10 environ. Au mur, on avait des calcaires compacts où l'imprégnation continuait très pauvre, pouvant donner à la formation totale bitumineuse une hauteur de 10 à 12 mètres.

La seule zone exploitée a été celle d'une ouverture de 2^m,10, comprise entre le calcaire bitumineux du toit de la couche et le calcaire compact inférieur. On y a pris les deux bancs de première et de deuxième qualité ; on s'est servi du banc intermédiaire pour les remblais. Mais on ne sait pas d'une façon nette si l'horizon exploitable comprend seulement la zone exploitée jusqu'ici ; aucun travail de reconnaissance par puits ou cheminée n'a été fait, à notre connaissance, au toit ou au mur (*).

L'épaisseur de la couche de Saint-Jean, estimée seule exploitable, est assez constante dans tous les travaux ; elle oscille peu autour de 2^m,50, pouvant aller de 1^m,50 à 3 mètres, mais dépassant rarement ces extrêmes. La minéralisation, au contraire, est plus variable, et on a pu constater un appauvrissement graduel dans deux directions, celle du pendage et celle de la direction des bancs.

La région exploitée jusqu'ici affecte la forme d'un trapèze rectangle de 460 mètres de grande base suivant la direction de la couche, aux abords des affleurements, de 200 seulement de petite base aux environs actuels du

(*) En 1906 ont été commencées des reconnaissances en ce sens.

puits ; du côté de l'Ouest, l'appauvrissement des bancs minéralisés a fait arrêter les travaux ; du côté de l'Est, ils sont arrêtés soit par suite du grand accident survenu dans l'exploitation dont nous aurons à reparler, soit près du puits par une faille très aquifère, dirigée à peu près suivant le pendage, qu'un seul niveau a traversé, et qui rejetterait la couche de 1 mètre à $1^m,50$. A la base du puits, une autre cassure de direction peu nette, mais qui semble plutôt en direction avec la couche, a fait perdre la couche vers le Nord ; mais, comme nous le verrons en étudiant les recherches de Saint-Jean, l'horizon asphaltique semble se prolonger vers le Nord-Ouest. La hauteur du trapèze est d'à peu près 500 mètres, et le champ d'exploitation a une superficie de 17 hectares environ.

La plongée de bancs est N.-15°-O., et très voisine de 20 p. 100 : en effet, dans le grand plan incliné intérieur sur 200 mètres de long, on a cette pente, et, depuis les affleurements jusqu'à la base du puits d'extraction, on compte 20,4 p. 100.

La couche est affectée, indépendamment de l'accident rencontré à la base du puits, par une série de cassures de très faible amplitude, 1 mètre au maximum, de direction sensiblement N.-N.-O., c'est-à-dire très rapprochée de celle du pendage.

La méthode d'exploitation usitée jusqu'en ces derniers temps consistait à ne laisser, comme soutien du toit, que des piliers abandonnés de $3^m,00 \times 4^m,00$, ce qui permettait de prendre 75 p. 100 du gîte. En réalité, il restait en place moins de 25 p. 100 du gîte, parce que, lorsque l'exploitation d'un quartier de la mine était terminée, on revenait en rabattant vers les galeries de roulage ou les niveaux, et on prenait dans les piliers environ moitié du banc supérieur de première qualité. On faisait quelques remblais avec les stériles triés au chantier d'abatage, et, en particulier, on comblait les vides faits dans les piliers de

soutènement. Il arriva pourtant qu'à cause de nombreuses fissures locales dans le gîte, peut-être aussi à cause d'une reprise trop grande des piliers, un affaissement considérable des anciens travaux de la région Est se produisit le 17 janvier 1904 : le banc d'asphalte de première, dont l'épaisseur ordinaire est de $0^m,45$, se trouva fréquemment réduit à $0^m,10$. L'accident eut heureusement lieu un dimanche, ce qui fit qu'il n'y eut pas d'accident de personne à déplorer.

On dut alors envisager la nécessité d'une modification de la méthode et, après avoir décidé l'abandon complet de tout travail dans la zone effondrée, on se résolut, pour les nouveaux étages, à procéder ainsi : à partir des voies de roulage de chaque sous-étage (distance de deux sous-étages suivant la verticale, 10 mètres), on pratique une série de recoupes d'une largeur de 3 mètres à l'origine, poussées à 6 mètres, à 3 mètres du niveau de roulage ; les piliers entre les recoupes ont au minimum 6 mètres de largeur, et les stériles de la partie abattue permettent de remblayer environ la moitié des vides produits par l'exploitation. On a donc, un sous-étage fini, seulement 25 p. 100 de vide, mais on a laissé en place 50 p. 100 du gîte.

A la suite de l'accident du 17 janvier 1904, des essais de résistance sur les divers bancs de la couche exploitée ont été faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, à Paris. Les expériences ont été poussées jusqu'à l'apparition de fentes sur les blocs soumis aux essais ; les résultats suivants correspondent aux principaux types :

	Poids du m³ en kilogrammes	Résistance au cm² en kilogrammes
Calcaire bitumineux du toit....	2.050 à 1.850	115 à 170
Banc d'asphalte de première ...	1.700 à 1.750	80 à 68
Calcaire intermédiaire.........	1.900 à 2.250	127 à 153
Banc de deuxième.............	1.800 à 1.900	125 à 200

Les deux coupes ci-dessous I et II (*fig.* 9) se rapportent aux chantiers actuels d'exploitation près du puits; les coupes III et IV (*fig.* 10) avec teneur en bitume ont été prises, la première dans l'avancement du niveau inférieur, l'autre dans les travaux anciens.

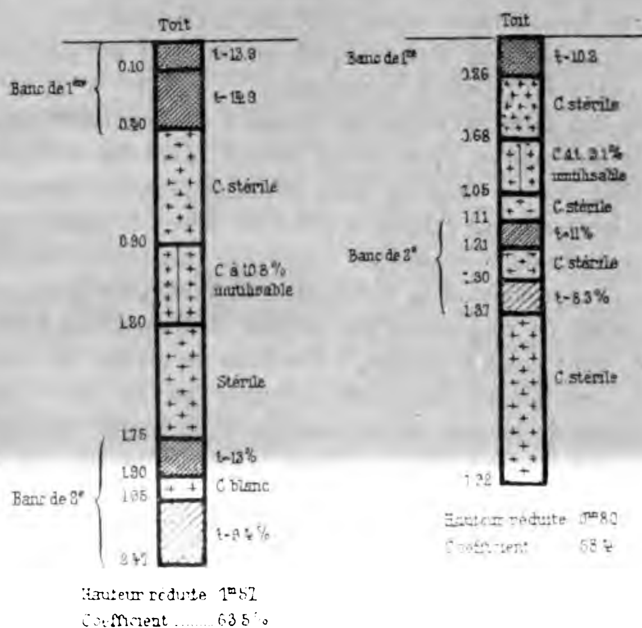


Fig. 9. — Coupes de la couche de Saint-Jean.

Deux analyses complètes ont été faites sur des échantillons de 1re et 2e qualité :

	1re qualité p. 100	2e qualité p. 100
Bitume ...	12,4	10,4
Argile ferrugineuse ...	0,8	0,5
Carbonate de chaux ...	84,2	86,4
— magnésie ...	2,1	2,2
Humidité ...	0,5	0,5

L'exploitation assez intensive du gîte Saint-Jean a donné, depuis l'institution de la concession, environ

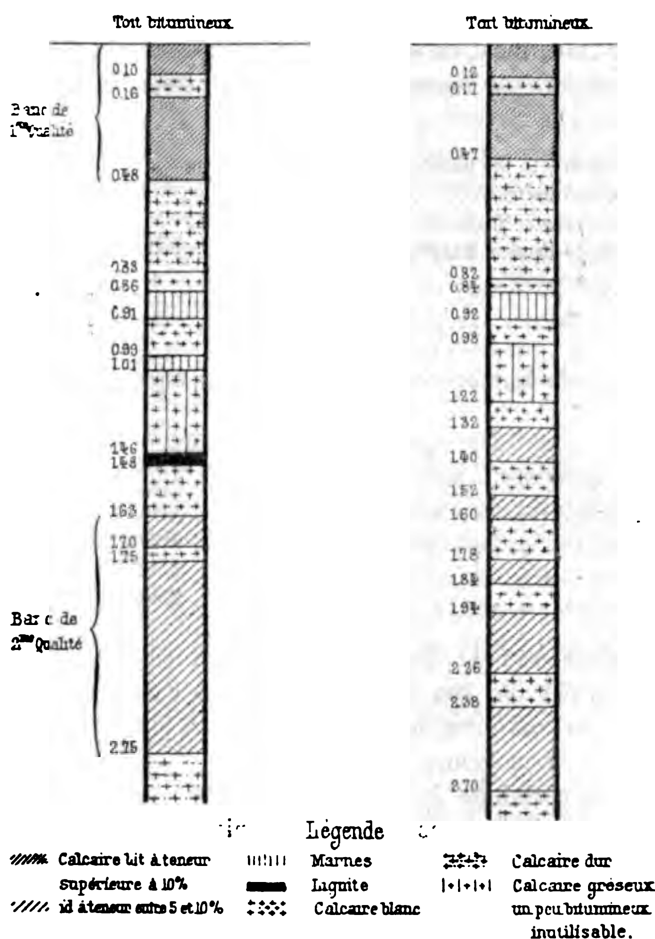


Fig. 10. — Coupes de la couche de Saint-Jean.

130.000 tonnes de produits marchands, dont 60.000 de première qualité à 12-14 p. 100 de bitume, 55.000 de

Les deux coupes ci-d…
aux chantiers actuels …
coupes III et IV (fig. 1…
prises, la première dans…
l'autre dans les travau…



Fig. … — Coupe…

deuxième à 8-9 p. 100, et le reste en produits utilisés à la mine même, dans une usine pour mastic asphaltique. Le minerai fut longtemps, en grande partie, exporté vers les Indes anglaises, principalement vers 1880-1890; aujourd'hui, il est surtout dirigé vers Londres et Berlin. Le transport par tonne à Londres se décompose ainsi :

	francs
Par charrette, de Saint-Jean à Saint-Ambroix (12 kilomètres)	2,80
Voie ferrée à Marseille depuis Saint-Ambroix	6,40
Droits de quai à Marseille	2,00
Fret (variable)	12,00
TOTAL	23,20 environ

La production en ces quatre dernières années a été :

	Asphalte			Total
	1re qualité	2e qualité	3e qualité	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1902	1.934	1.926	4.160	8.020
1903	2.595	473	1.894	4.962
1904	2.355	1.169	3.404	6.928
1905	3.148	[illegible]	2.482	5.630

Le fléchissement de la production de 1905 sur celle de 1904 est dû aux arrêts de travail causés par les eaux : les cassures aquifères indiquées plus haut, qui amènent en moyenne 120 mètres cubes par jour, ont donné à certaines époques jusqu'à 1.000 mètres cubes que l'imperfection des moyens d'épuisement ne permettait pas d'évacuer au fur et à mesure de leur arrivée, d'où des inondations partielles et des suspensions de travail ; trois venues d'eau particulièrement fortes ont fait interrompre l'abatage dans le mois de janvier en entier, du 14 juin au 4 juillet, et à partir du 23 décembre, pour ne citer que ce qui se rapporte à l'année 1905, soit, en somme, soixante jours.

CHAPITRE V.

RECHERCHES D'ASPHALTE.

Les recherches pour asphalte dans le bassin tertiaire d'Alais peuvent se diviser en deux groupes : le premier, comprenant tout ce qui s'est fait dans les environs de Saint-Jean-de-Maruéjols, où l'on a obtenu de très sérieux résultats ; le second, dans lequel nous rangerons tout ce qui s'est fait ailleurs, à Auzon, Allègre, Saint-Privat-des-Vieux, etc.

§ I. — RECHERCHES DE SAINT-JEAN.

La couche connue dans la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols donnant lieu, depuis déjà longtemps, à une exploitation importante, l'activité des chercheurs fut amenée à se porter principalement aux alentours de cette concession et le gîte de Saint-Jean fut recherché en dehors des limites concédées. La plongée générale des couches tertiaires de cette région étant N.-O. et les terrains secondaires affleurant du côté de l'Est à très faible distance, terrains dans lesquels on ne connaissait pas d'asphalte, ce fut au Nord et à l'Ouest de Saint-Jean que l'on se mit à étudier les terrains.

Aucune recherche n'eut lieu pourtant avant que la Société française des Asphaltes (Limited) acquit la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols. L'asphalte était encore peu employé et les demandes de ce produit par suite faibles. Néanmoins, en 1872, la Société française commence au Sud d'Avéjan, à 2 kilomètres environ au Nord de Saint-Jean, une série de petits puits, quatre en tout, de peu de profondeur, puisque aucun ne dépasse 5 mètres, où furent rencontrées des traces bitumineuses; cette découverte motiva une demande d'extension du périmètre

de Saint-Jean, demande rejetée d'ailleurs, à cause du peu d'importance des résultats acquis.

Plus de vingt ans s'écoulèrent avant la reprise des recherches; la Société française attaque alors, en 1894, le sondage n° 1, qui fut abandonné à la profondeur de 62 mètres, sans avoir rien donné; ce sondage n° 1 se trouvait à 700 mètres au N. de Saint-Jean et à 200 mètres environ au S.-O. du puits d'extraction actuel, à quelques mètres à l'Ouest de la route de Saint-Jean à Barjac. — Presque au même moment, une Société aujourd'hui disparue, la Société des Asphaltes de France, commençait le sondage n° 2, à 175 mètres au Sud du précédent, qui, bien que poussé jusqu'à 100 mètres de profondeur, ne donnait pas de meilleurs résultats. Par contre, la reprise par cette même Société des travaux en 1872, à Avéjan, faisait rencontrer, à une profondeur de 12 mètres, une couche d'asphalte de $0^m,60$ de puissance, dans laquelle on forait une trentaine de mètres de galeries. Le calcaire était pauvrement imprégné de bitume, la teneur ne dépassait pas 4 p. 100; les travaux furent abandonnés et remblayés en 1895. Reprises plus tard, les recherches devaient trouver une épaisseur minéralisée de 12 mètres au point où, en 1895, on n'avait exploré que le toit du gisement.

Tout ce qui avait donc été fait jusqu'ici n'avait donné que des indications plutôt mauvaises; on ne reprit les travaux qu'en 1903.

La campagne de recherches commence alors par les sondages de la Société française Limited, de la Société des Asphaltes du Centre et du Val de Travers, aux environs de Saint-Jean-de-Maruéjols et d'Avéjan, et par des travaux par puits et galeries au Sud d'Avéjan par les deux dernières Sociétés. Des résultats sérieux étaient déjà obtenus quand la substitution, aux appareils de sondage employés, d'appareils Raky, permit, en 1904, une exploration plus profonde et plus rapide. On trouva alors,

le 29 février 1904, par le sondage n° 8 (*fig.* 8) de la Société du Centre, une couche asphaltique d'une puissance de plus de 10 mètres ; l'approfondissement, après cette découverte, de deux anciens sondages (5 et 6) abandonnés, fit connaître (1904), en deux autres points, des minéralisations aussi riches. Deux autres sondages, 9 et 14, conduisirent à des résultats comparables, en 1904 pour le premier, en 1905 pour le second. On avait donc de l'asphalte riche et exploitable dans la région entre Saint-Jean-de-Maruéjols et Avéjan, indépendamment du gisement déjà connu dans la concession de Saint-Jean. Dans cette concession, d'ailleurs, un sondage 10' atteignait, toujours en 1904, une zone d'une richesse analogue à celle des sondages précédents.

Les heureux résultats obtenus encouragèrent à des recherches en d'autres points ; c'est alors que l'on fit au Sud de Saint-Jean deux sondages qui ne trouvèrent rien ; qu'au Nord deux attaques, celles de MM. Silhol et Bonnal de part et d'autre d'un sondage n° 7, dont nous aurons à parler, effectué en 1904, n'eurent pas meilleur sort, et que M. Barrillon, continuant plus au Nord les recherches qu'il avait commencées vers Auzon, attaquait en août 1905, à l'Ouest de Saint-Jean, ce sondage n° 18 qui, poussé jusqu'à 466 mètres, traversa des horizons semblant être du lignite à 265 mètres et entre 426 et 447, sans trouver traces de bitume notables (*).

(*) Les horizons ligniteux de ce sondage sont au nombre de quatre : le premier aurait 0m,60 de puissance (264,90 à 265,50) ; le second, 1m,65 (426,40-428,05) ; le troisième, 0m,10 (429,90-430) ; le quatrième, 9 mètres, avec ce banc de calcaire de 0m,50 (438,05 à 447,05). Les analyses suivantes ont été faites sur des échantillons qui nous ont été communiqués (les numéros correspondent aux horizons) ; nous les donnons à cause de leurs résultats assez curieux.

	I	II	III	IV
Humidité	4,4	2,1	3,2	2,4
Matières volatiles	22,1	43,5	39,9	38,2
Cendres	52,3	19,8	23,8	27,4
Carbone fixe	21,2	33,6	33,1	32,0
Nature du coke	pulvérulent,	aggloméré,	non boursouflé,	à éclat métallique.

Tous ces échantillons coloraient très peu le sulfure de carbone.

TABLEAU DES DIVERS SONDAGES

POUR LA RECHERCHE D'ASPHALTE DANS LA RÉGION DE SAINT-JEAN-DE-MARUÉJOLS ET D'AUZON.

NUMÉRO d'ordre	SOCIÉTÉS DE RECHERCHES	SITUATION DU SONDAGE	DATE du commencement du forage	PROFONDEUR TOTALE
1	Société française Ltd	100 mètres à l'O. de la route de Saint-Jean à Barjac, 1.100 au N. de Saint-Jean	25 juin 1894	72,00
2	Val de Travers	100 mètres à l'O. de la même route et à 800 au N. de Saint-Jean	22 juin 1894	99,50
3	—	Sur la route ci-dessus, à 1.700 mètres au N. de Saint-Jean	7 mai 1903	92,00
4	Val de Travers	Au S. d'Avéjan	17 juin 1903	25,00
5	—	Au S.-O. d'Avéjan	12 juillet 1903	121,06
6	Centre	— —	29 juillet 1903	120,95
7	Val de Travers	A Fontcouverte	30 janvier 1904	237,75
8	Centre	Au S.-O. d'Avéjan	30 janvier 1904	120,92
9	Société française Ltd	A 1.850 mètres au N. de Saint-Jean, sur la route de Saint-Jean à Barjac	26 avril 1904	179,34
10	Val de Travers	A 2.000 mètres au Sud de Saint-Jean	6 juillet 1904	194,51
10'	Société française Ltd	Dans la concession de Saint-Jean	1904	114,50
11	Val de Travers	A Rivière	27 juin 1904	100,00
12	M. Barrillon	500 mètres à l'E. d'Auzon	9 août 1904	448,39
13	Val de Travers	Sur la Cèze, à 2 kilomètres au S. de Saint-Jean	1er septembre 1904	215,75
14	—	A 1 kilomètre au N. de Saint-Jean	5 décembre 1904	332,94
15	M. Silhol	A Romejac	1er février 1905	188,10
16	M. Barrillon	A 250 mètres au N.-E. d'Auzon	22 mars 1905	445,80
17	M. Bonnal	A 500 mètres à l'O. de Fontcouverte	31 mai 1905	8,50
18	M. Barrillon	A 1.200 mètres à l'O. de Saint-Jean	16 août 1905	466,80

Le tableau inséré dans le texte indique les différents sondages effectués aux environs de Saint-Jean; il comprend également le sondage de M. Barrillon près d'Auzon et celui du Val de Travers près de Rivière, dont nous nous occuperons dans un autre paragraphe.

A côté de la campagne des sondages, qui mettait en évidence en plusieurs points des calcaires asphaltiques, la poursuite des travaux en couche au Sud d'Avéjan par la Société du Centre et le Val de Travers y démontrait l'existence d'une formation beaucoup plus importante que celle connue au début et de richesse tout à fait comparable à celle rencontrée dans les sondages 6 ou 8. Étudions maintenant de plus près les résultats obtenus.

Des sondages qui ont trouvé l'asphalte, nous ne nous occuperons que des sondages 6, 7, 8, 9, 10′ et 14, les autres n'ayant jamais donné que des traces de minéralisation.

Sondage 6. — Le sondage 6 trouva 12^{m},85 d'asphalte entre 107^{m},17 et 120^{m},02 de profondeur; au-dessous, les calcaires continuèrent avec légère odeur bitumineuse. Les diverses carottes remontées donnent une puissance de minéralisation à 10 p. 100 de 6^{m},02, avec un coefficient de répartition de 46,9 p. 100 (*) (Pl. XX).

Sondage 8 (Pl. XX). — Au sondage 8, on a eu 13^{m},50 de minéralisation entre 104,42 et 117,92; un banc de

(*) Comme nous avons eu l'occasion de le faire remarquer au chapitre I, la teneur en bitume ne signifie pas tout dans un calcaire asphaltique; beaucoup d'autres éléments interviennent, qualité du calcaire, matières étrangères, etc., dans l'évaluation commerciale. Mais, au point de vue géologique, le fait intéressant est celui de l'imprégnation bitumineuse, dont une valeur peut être donnée par cette épaisseur en couche à 10 p. 100 de bitume. Le coefficient de répartition donnera une indication sur l'importance de l'imprégnation, puisqu'il sera d'autant plus élevé pour une même imprégnation que la hauteur des calcaires minéralisés sera plus faible.

sité, depuis quelques années, le forage d'un puits par où sort actuellement tout le minerai.



Fig. 8. — Carte des concessions du Nord et des sondages.

Une coupe moyenne du gîte aux affleurements était la suivante : un calcaire marneux peu solide surmontait un banc de $0^{m},30$ environ d'un calcaire bitumineux assez riche et solide que l'on a dû conserver comme toit dans

les travaux d'exploitation pour éviter des boisages trop coûteux ; ensuite venaient 0m,45 d'asphalte de première qualité (roche striée principalement) à 12-13 p. 100 de bitume, séparés par 0m,55 d'un calcaire marneux et gréseux pauvrement imprégné, d'une formation asphaltique moins riche que la première (roche ordinairement régulièrement imprégnée dans toute sa masse), mais donnant du minerai à 7-8 p. 100 dit de deuxième qualité, sur une épaisseur de 1m,10 environ. Au mur, on avait des calcaires compacts où l'imprégnation continuait très pauvre, pouvant donner à la formation totale bitumineuse une hauteur de 10 à 12 mètres.

La seule zone exploitée a été celle d'une ouverture de 2m,10, comprise entre le calcaire bitumineux du toit de la couche et le calcaire compact inférieur. On y a pris les deux bancs de première et de deuxième qualité ; on s'est servi du banc intermédiaire pour les remblais. Mais on ne sait pas d'une façon nette si l'horizon exploitable comprend seulement la zone exploitée jusqu'ici ; aucun travail de reconnaissance par puits ou cheminée n'a été fait, à notre connaissance, au toit ou au mur (*).

L'épaisseur de la couche de Saint-Jean, estimée seule exploitable, est assez constante dans tous les travaux ; elle oscille peu autour de 2m,50, pouvant aller de 1m,50 à 3 mètres, mais dépassant rarement ces extrêmes. La minéralisation, au contraire, est plus variable, et on a pu constater un appauvrissement graduel dans deux directions, celle du pendage et celle de la direction des bancs.

La région exploitée jusqu'ici affecte la forme d'un trapèze rectangle de 460 mètres de grande base suivant la direction de la couche, aux abords des affleurements, de 200 seulement de petite base aux environs actuels du

(*) En 1906 ont été commencées des reconnaissances en ce sens.

puits; du côté de l'Ouest, l'appauvrissement des bancs minéralisés a fait arrêter les travaux; du côté de l'Est, ils sont arrêtés soit par suite du grand accident survenu dans l'exploitation dont nous aurons à reparler, soit près du puits par une faille très aquifère, dirigée à peu près suivant le pendage, qu'un seul niveau a traversé, et qui rejetterait la couche de 1 mètre à 1^m,50. A la base du puits, une autre cassure de direction peu nette, mais qui semble plutôt en direction avec la couche, a fait perdre la couche vers le Nord; mais, comme nous le verrons en étudiant les recherches de Saint-Jean, l'horizon asphaltique semble se prolonger vers le Nord-Ouest. La hauteur du trapèze est d'à peu près 500 mètres, et le champ d'exploitation a une superficie de 17 hectares environ.

La plongée de bancs est N.-15°-O., et très voisine de 20 p. 100: en effet, dans le grand plan incliné intérieur sur 200 mètres de long, on a cette pente, et, depuis les affleurements jusqu'à la base du puits d'extraction, on compte 20,4 p. 100.

La couche est affectée, indépendamment de l'accident rencontré à la base du puits, par une série de cassures de très faible amplitude, 1 mètre au maximum, de direction sensiblement N.-N.-O., c'est-à-dire très rapprochée de celle du pendage.

La méthode d'exploitation usitée jusqu'en ces derniers temps consistait à ne laisser, comme soutien du toit, que des piliers abandonnés de 3^m,00 $\times$ 4^m,00, ce qui permettait de prendre 75 p. 100 du gîte. En réalité, il restait en place moins de 25 p. 100 du gîte, parce que, lorsque l'exploitation d'un quartier de la mine était terminée, on revenait en rabattant vers les galeries de roulage ou les niveaux, et on prenait dans les piliers environ moitié du banc supérieur de première qualité. On faisait quelques remblais avec les stériles triés au chantier d'abatage, et, en particulier, on comblait les vides faits dans les piliers de

soutènement. Il arriva pourtant qu'à cause de nombreuses fissures locales dans le gite, peut-être aussi à cause d'une reprise trop grande des piliers, un affaissement considérable des anciens travaux de la région Est se produisit le 17 janvier 1904 : le banc d'asphalte de première, dont l'épaisseur ordinaire est de $0^m,45$, se trouva fréquemment réduit à $0^m,10$. L'accident eut heureusement lieu un dimanche, ce qui fit qu'il n'y eut pas d'accident de personne à déplorer.

On dut alors envisager la nécessité d'une modification de la méthode et, après avoir décidé l'abandon complet de tout travail dans la zone effondrée, on se résolut, pour les nouveaux étages, à procéder ainsi : à partir des voies de roulage de chaque sous-étage (distance de deux sous-étages suivant la verticale, 10 mètres), on pratique une série de recoupes d'une largeur de 3 mètres à l'origine, poussées à 6 mètres, à 3 mètres du niveau de roulage ; les piliers entre les recoupes ont au minimum 6 mètres de largeur, et les stériles de la partie abattue permettent de remblayer environ la moitié des vides produits par l'exploitation. On a donc, un sous-étage fini, seulement 25 p. 100 de vide, mais on a laissé en place 50 p. 100 du gite.

A la suite de l'accident du 17 janvier 1904, des essais de résistance sur les divers bancs de la couche exploitée ont été faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, à Paris. Les expériences ont été poussées jusqu'à l'apparition de fentes sur les blocs soumis aux essais ; les résultats suivants correspondent aux principaux types :

	Poids du m³ en kilogrammes	Résistance au cm² en kilogrammes
Calcaire bitumineux du toit....	2.050 à 1.850	115 à 170
Banc d'asphalte de première ...	1.700 à 1.750	80 à 68
Calcaire intermédiaire.........	1.900 à 2.250	127 à 153
Banc de deuxième.............	1.800 à 1.900	125 à 200

Les deux coupes ci-dessous I et II (*fig.* 9) se rapportent aux chantiers actuels d'exploitation près du puits; les coupes III et IV (*fig.* 10) avec teneur en bitume ont été prises, la première dans l'avancement du niveau inférieur, l'autre dans les travaux anciens.

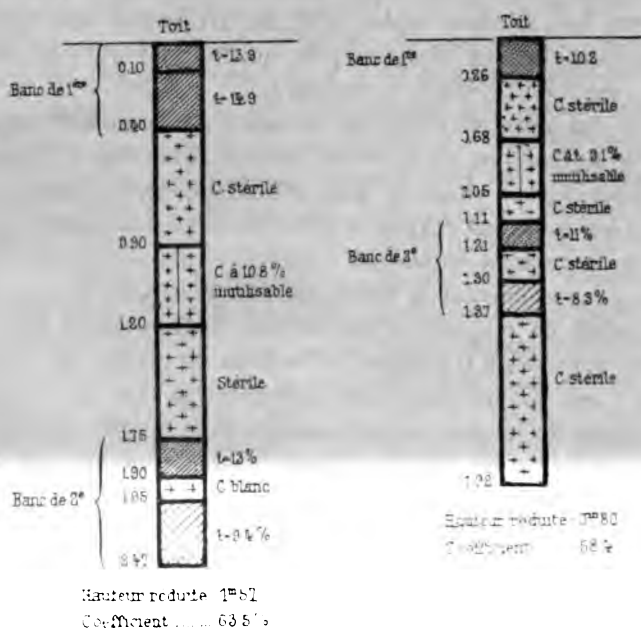


Fig. 9. — Coupes de la couche de Saint-Jean.

Deux analyses complètes ont été faites sur des échantillons de 1re et 2e qualité :

	1re qualité p. 100	2e qualité p. 100
Bitume	12,4	10,4
Argile ferrugineuse	0,8	0,5
Carbonate de chaux	84,2	86,4
— magnésie	2,1	2,2
Humidité	0,5	0,5

L'exploitation assez intensive du gîte Saint-Jean a donné, depuis l'institution de la concession, environ

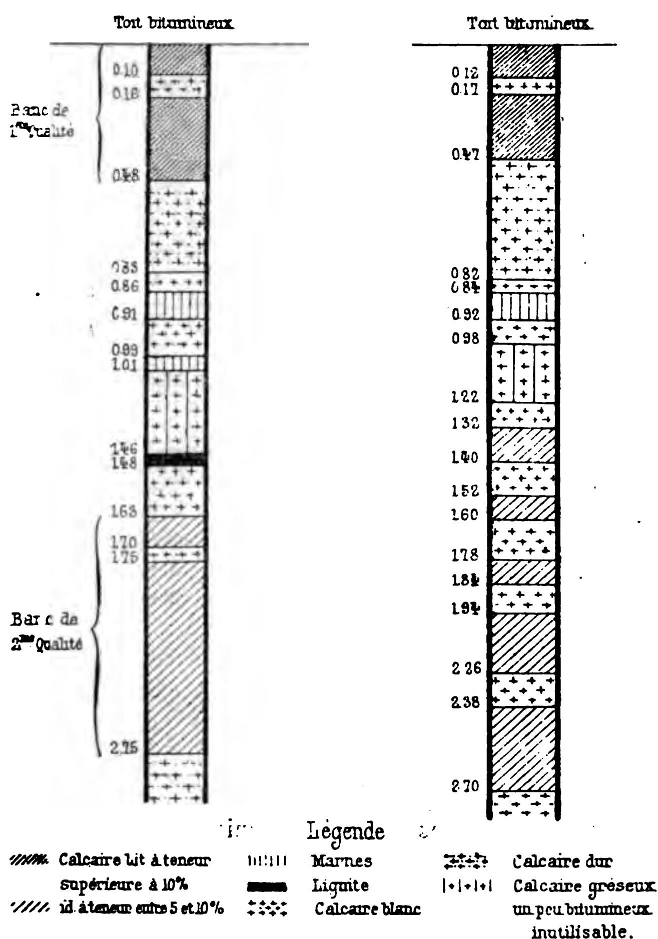


FIG. 10. — Coupes de la couche de Saint-Jean.

130.000 tonnes de produits marchands, dont 60.000 de première qualité à 12-14 p. 100 de bitume, 55.000 de

deuxième à 8-9 p. 100, et le reste en produits utilisés à la mine même, dans une usine pour mastic asphaltique. Le minerai fut longtemps, en grande partie, exporté vers les Indes anglaises, principalement vers 1880-1890; aujourd'hui, il est surtout dirigé vers Londres et Berlin. Le transport par tonne à Londres se décompose ainsi :

	francs
Par charrette, de Saint-Jean à Saint-Ambroix (12 kilomètres)	2,80
Voie ferrée à Marseille depuis Saint-Ambroix	6,40
Droits de quai à Marseille	2,00
Fret (variable)	12,00
Total	23,20 environ

La production en ces quatre dernières années a été :

	Asphalte			Total
	1re qualité tonnes	2e qualité tonnes	3e qualité tonnes	tonnes
1902	1.934	1.926	4.160	8.020
1903	2.595	473	1.894	4.962
1904	2.355	1.169	3.404	6.928
1905	3.148	»	2.482	5.630

Le fléchissement de la production de 1905 sur celle de 1904 est dû aux arrêts de travail causés par les eaux; les cassures aquifères indiquées plus haut, qui amènent en moyenne 120 mètres cubes par jour, ont donné à certaines époques jusqu'à 1.000 mètres cubes que l'imperfection des moyens d'épuisement ne permettait pas d'évacuer au fur et à mesure de leur arrivée, d'où des inondations partielles et des suspensions de travail; trois venues d'eau particulièrement fortes ont fait interrompre l'abatage dans le mois de janvier en entier, du 14 juin au 4 juillet, et à partir du 23 décembre, pour ne citer que ce qui se rapporte à l'année 1905, soit, en somme, soixante jours.

CHAPITRE V.

RECHERCHES D'ASPHALTE.

Les recherches pour asphalte dans le bassin tertiaire d'Alais peuvent se diviser en deux groupes : le premier, comprenant tout ce qui s'est fait dans les environs de Saint-Jean-de-Maruéjols, où l'on a obtenu de très sérieux résultats ; le second, dans lequel nous rangerons tout ce qui s'est fait ailleurs, à Auzon, Allègre, Saint-Privat-des-Vieux, etc.

§ I. — RECHERCHES DE SAINT-JEAN.

La couche connue dans la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols donnant lieu, depuis déjà longtemps, à une exploitation importante, l'activité des chercheurs fut amenée à se porter principalement aux alentours de cette concession et le gîte de Saint-Jean fut recherché en dehors des limites concédées. La plongée générale des couches tertiaires de cette région étant N.-O. et les terrains secondaires affleurant du côté de l'Est à très faible distance, terrains dans lesquels on ne connaissait pas d'asphalte, ce fut au Nord et à l'Ouest de Saint-Jean que l'on se mit à étudier les terrains.

Aucune recherche n'eut lieu pourtant avant que la Société française des Asphaltes (Limited) acquît la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols. L'asphalte était encore peu employé et les demandes de ce produit par suite faibles. Néanmoins, en 1872, la Société française commence au Sud d'Avéjan, à 2 kilomètres environ au Nord de Saint-Jean, une série de petits puits, quatre en tout, de peu de profondeur, puisque aucun ne dépasse 5 mètres, où furent rencontrées des traces bitumineuses ; cette découverte motiva une demande d'extension du périmètre

de Saint-Jean, demande rejetée d'ailleurs, à cause du peu d'importance des résultats acquis.

Plus de vingt ans s'écoulèrent avant la reprise des recherches; la Société française attaque alors, en 1894, le sondage n° 1, qui fut abandonné à la profondeur de 62 mètres, sans avoir rien donné; ce sondage n° 1 se trouvait à 700 mètres au N. de Saint-Jean et à 200 mètres environ au S.-O. du puits d'extraction actuel, à quelques mètres à l'Ouest de la route de Saint-Jean à Barjac. — Presque au même moment, une Société aujourd'hui disparue, la Société des Asphaltes de France, commençait le sondage n° 2, à 175 mètres au Sud du précédent, qui, bien que poussé jusqu'à 100 mètres de profondeur, ne donnait pas de meilleurs résultats. Par contre, la reprise par cette même Société des travaux en 1872, à Avéjan, faisait rencontrer, à une profondeur de 12 mètres, une couche d'asphalte de $0^m,60$ de puissance, dans laquelle on forait une trentaine de mètres de galeries. Le calcaire était pauvrement imprégné de bitume, la teneur ne dépassait pas 4 p. 100; les travaux furent abandonnés et remblayés en 1895. Reprises plus tard, les recherches devaient trouver une épaisseur minéralisée de 12 mètres au point où, en 1895, on n'avait exploré que le toit du gisement.

Tout ce qui avait donc été fait jusqu'ici n'avait donné que des indications plutôt mauvaises : on ne reprit les travaux qu'en 1903.

La campagne de recherches commence alors par les sondages de la Société française Limited, de la Société des Asphaltes du Centre et du Val de Travers, aux environs de Saint-Jean-de-Maruéjols et d'Avéjan, et par des travaux par puits et galeries au Sud d'Avéjan par les deux dernières Sociétés. Des résultats sérieux étaient déjà obtenus quand la substitution, aux appareils de sondage employés, d'appareils Raky, permit, en 1904, une exploration plus profonde et plus rapide. On trouva alors,

le 29 février 1904, par le sondage n° 8 (*fig.* 8) de la Société du Centre, une couche asphaltique d'une puissance de plus de 10 mètres; l'approfondissement, après cette découverte, de deux anciens sondages (5 et 6) abandonnés, fit connaître (1904), en deux autres points, des minéralisations aussi riches. Deux autres sondages, 9 et 14, conduisirent à des résultats comparables, en 1904 pour le premier, en 1905 pour le second. On avait donc de l'asphalte riche et exploitable dans la région entre Saint-Jean-de-Maruéjols et Avéjan, indépendamment du gisement déjà connu dans la concession de Saint-Jean. Dans cette concession, d'ailleurs, un sondage 10′ atteignait, toujours en 1904, une zone d'une richesse analogue à celle des sondages précédents.

Les heureux résultats obtenus encouragèrent à des recherches en d'autres points; c'est alors que l'on fit au Sud de Saint-Jean deux sondages qui ne trouvèrent rien; qu'au Nord deux attaques, celles de MM. Silhol et Bonnal de part et d'autre d'un sondage n° 7, dont nous aurons à parler, effectué en 1904, n'eurent pas meilleur sort, et que M. Barrillon, continuant plus au Nord les recherches qu'il avait commencées vers Auzon, attaquait en août 1905, à l'Ouest de Saint-Jean, ce sondage n° 18 qui, poussé jusqu'à 466 mètres, traversa des horizons semblant être du lignite à 265 mètres et entre 426 et 447, sans trouver traces de bitume notables (*).

(*) Les horizons ligniteux de ce sondage sont au nombre de quatre: le premier aurait 0m,60 de puissance (264,90 à 265,50); le second, 1m,65 (426,40-428,05); le troisième, 0m,10 (429,90-430); le quatrième, 9 mètres, avec ce banc de calcaire de 0m,50 (438,05 à 447,05). Les analyses suivantes ont été faites sur des échantillons qui nous ont été communiqués (les numéros correspondent aux horizons); nous les donnons à cause de leurs résultats assez curieux.

	I	II	III	IV
Humidité	4,4	3,1	3,2	2,4
Matières volatiles	22,1	43,5	39,9	38,2
Cendres	52,3	19,8	23,8	27,4
Carbone fixe	21,2	33,6	33,1	32,0
Nature du coke	pulvérulent,	aggloméré, non boursouflé, à éclat métallique.		

Tous ces échantillons coloraient très peu le sulfure de carbone.

TABLEAU DES DIVERS SONDAGES

POUR LA RECHERCHE D'ASPHALTE DANS LA RÉGION DE SAINT-JEAN-DE-MARUÉJOLS ET D'AUZON.

NUMÉRO d'ordre	SOCIÉTÉS DE RECHERCHES	SITUATION DU SONDAGE	DATE du commencement du forage	PROFONDEUR TOTALE
1	Société française Ltd	100 mètres à l'O. de la route de Saint-Jean à Barjac, 1.100 au N. de Saint-Jean	25 juin 1894	72,00
2	Val de Travers	100 mètres à l'O. de la même route et à 800 au N. de Saint-Jean	22 juin 1894	99,50
3	—	Sur la route ci-dessus, à 1.700 mètres au N. de Saint-Jean	7 mai 1903	92,00
4	Val de Travers	Au S. d'Avéjan	17 juin 1903	25,00
5	—	Au S.-O. d'Avéjan	12 juillet 1903	121,06
6	Centre	— —	29 juillet 1903	120,95
7	Val de Travers	A Fontcouverte	30 janvier 1904	237,75
8	Centre	Au S.-O. d'Avéjan	30 janvier 1904	120,92
9	Société française Ltd	A 1.850 mètres au N. de Saint-Jean, sur la route de Saint-Jean à Barjac	26 avril 1904	179,34
10	Val de Travers	A 2.000 mètres au Sud de Saint-Jean	6 juillet 1904	194,51
10	Société française Ltd	Dans la concession de Saint-Jean	1904	114,50
11	Val de Travers	A Rivière	27 juin 1904	100,00
12	M. Barrillon	500 mètres à l'E. d'Auzon	9 août 1904	448,39
13	Val de Travers	Sur la Cèze, à 2 kilomètres au S. de Saint-Jean	1er septembre 1904	215,75
14	—	A 1 kilomètre au N. de Saint-Jean	5 décembre 1904	332,94
15	M. Silhol	A Romejac	1er février 1905	188,10
16	M. Barrillon	A 250 mètres au N.-E. d'Auzon	22 mars 1905	445,80
17	M. Bonnal	A 500 mètres à l'O. de Fontcouverte	31 mai 1905	8,50
18	M. Barrillon	A 1.200 mètres à l'O. de Saint-Jean	16 août 1905	466,80

Le tableau inséré dans le texte indique les différents sondages effectués aux environs de Saint-Jean; il comprend également le sondage de M. Barrillon près d'Auzon et celui du Val de Travers près de Rivière, dont nous nous occuperons dans un autre paragraphe.

A côté de la campagne des sondages, qui mettait en évidence en plusieurs points des calcaires asphaltiques, la poursuite des travaux en couche au Sud d'Avéjan par la Société du Centre et le Val de Travers y démontrait l'existence d'une formation beaucoup plus importante que celle connue au début et de richesse tout à fait comparable à celle rencontrée dans les sondages 6 ou 8. Étudions maintenant de plus près les résultats obtenus.

Des sondages qui ont trouvé l'asphalte, nous ne nous occuperons que des sondages 6, 7, 8, 9, 10′ et 14, les autres n'ayant jamais donné que des traces de minéralisation.

Sondage 6. — Le sondage 6 trouva 12^{m},85 d'asphalte entre 107^{m},17 et 120^{m},02 de profondeur; au-dessous, les calcaires continuèrent avec légère odeur bitumineuse. Les diverses carottes remontées donnent une puissance de minéralisation à 10 p. 100 de 6^{m},02, avec un coefficient de répartition de 46,9 p. 100 (*) (Pl. XX).

Sondage 8 (Pl. XX). — Au sondage 8, on a eu 13^{m},50 de minéralisation entre 104,42 et 117,92; un banc de

(*) Comme nous avons eu l'occasion de le faire remarquer au chapitre I, la teneur en bitume ne signifie pas tout dans un calcaire asphaltique; beaucoup d'autres éléments interviennent, qualité du calcaire, matières étrangères, etc., dans l'évaluation commerciale. Mais, au point de vue géologique, le fait intéressant est celui de l'imprégnation bitumineuse, dont une valeur peut être donnée par cette épaisseur en couche à 10 p. 100 de bitume. Le coefficient de répartition donnera une indication sur l'importance de l'imprégnation, puisqu'il sera d'autant plus élevé pour une même imprégnation que la hauteur des calcaires minéralisés sera plus faible.

silex de 1 mètre environ d'épaisseur réduisait la partie utile à 12m,50; la hauteur en couche à 10 p. 100, légèrement supérieure à celle du sondage 6, atteignait 6m,50, le coefficient de répartition était de 48,1 p. 100. — Au-dessous du niveau 147,92, et jusqu'au fond du forage, soit sur 3 mètres de hauteur, les calcaires n'avaient plus que des teneurs insignifiantes de 5 à 10 dix-millièmes. La majeure partie des bancs se compose de calcaires à 7 à 12 p. 100 particulièrement propres aux comprimés et aux chaussées, comme le montrent les analyses suivantes I à IV ; l'analyse V se rapporte au sondage 6, qui donne des résultats industriels comparables.

	I	II	III	IV	V
Bitume soluble dans le sulfure de carbone....	10,35	14,70	12,50	7,30	8,00
Résidu argileux........	0,20	0,50	0,50	0,70	1,00
$Fe^2O^3 + Al^2O^3$..........	0,30	0,50	0,50	0,80	0,75
CO^3Ca..................	88,10	82,10	84,60	89,10	89,00
CO^3Mg..................	0,73	1,13	1,13	0,85	0,37
TOTAL.............	99,68	98,93	99,23	98,75	99,12

Sondage 9 (Pl. XXI). — Le sondage 9, fait par la Société française des Asphaltes (Limited), recoupa un horizon asphaltique entre 166,99 et 183,54, soit sur 16m,55 ; une zone de silex fut encore rencontrée ici dans la partie inférieure des bancs, mais elle n'avait plus que 0m,54 (en attribuant, comme cela paraît vraisemblable, à cause de la nature crevassée et fissurée de ces silex, la réduction de hauteur entre la carotte forée et la carotte retirée IX à ce silex). — La hauteur réduite à 10 p. 100 était la plus forte trouvée, 10m,56, de même que le coefficient de répartition, égal à 63,8 p. 100.

Sondage n° 14 (Pl. XXI). — Le sondage 14, fait par The Val de Travers Asphalte Paving Company, à

l'Ouest de Saint-Jean-de-Maruéjols, a donné des résultats théoriquement moins satisfaisants. Après le premier horizon minéralisé entre 297,25 et 299,25, d'ailleurs pauvrement, il a recoupé sur 7^{m},68, de 312,70 à 320,38, des bancs plus riches et donnant des carottes où le bitume suintait. Au delà de 320,38, on aurait encore, sur 5 mètres de verticale, trouvé de riches imprégnations bitumineuses ; en assignant à ces dernières parties, pour lesquelles nous n'avons eu connaissance ni des carottes, ni des analyses, une teneur moyenne de 6 p. 100, on aurait une hauteur réduite de 4^{m},95 sur une hauteur de 14^{m},68, soit un coefficient de répartition de 33,7.

Il faut d'ailleurs remarquer que, soit du fait des nombreux incidents dont la prise de carottes a été l'objet à ce sondage, soit par suite des carottes VII et VIII qui, sur une hauteur forée de 2 mètres, n'ont permis de remonter que 53 centimètres, soit aussi à cause de ce bitume suintant qui, sous l'effet de la pression de l'eau au fond du trou, a pu être expulsé en partie des carottes (et, en réalité, on a constaté au jour des traces bitumineuses sur l'eau remontant), le résultat ci-dessus indiqué peut être assez éloigné de la vérité. La couche peut être plus avantageuse ; mais la nature de l'imprégnation est moins régulière et par suite moins indiquée peut-être pour les applications.

Notons aussi que le sondage 14 a présenté la particularité de donner à partir de la carotte V des dégagements assez notables de gaz, qu'on n'a pas eu l'idée de recueillir, la seule constatation faite sur eux ayant été leur noninflammabilité au contact d'une allumette en ignition.

Des analyses sur le bitume extrait des carottes de ces sondages ont donné :

	Analyse I	Analyse II
Pétrolène....................	11,9	12,02
Asphaltène....................	86,8	86,70
Matières argileuses...........	1,3	1,35

Sondage 10'. — Le sondage 10' a été effectué à l'intérieur de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols par la Société française Limited ; d'après les renseignements fournis par l'exploitant, une zone minéralisée aurait été trouvée à la profondeur de 101^m,80, sur une hauteur de 12^m,70 ; la coupe serait la suivante :

Asphalte riche à 13 p. 100..................	0^m,60
Calcaire stérile...........................	0^m,50
Asphalte à 8 p. 100 avec nombreux bancs stériles..................................	10^m,70
Asphalte riche à 13 p. 100..................	1^m,20
Calcaire pauvre.................	0^m,30

La hauteur réduite pourrait être estimée à 7 mètres environ, avec un coefficient de répartition de 55 p. 100. Il faut remarquer que la coupe du gîte donne au début quelque chose d'analogue à la couche exploitée à Saint-Jean, où le banc de première qualité est séparé du banc de seconde par un entre-deux stérile de 0^m,50 à 0^m,80.

Sondage 7 (Pl. XX). — Ce sondage, fait par The Val de Travers Asphalte Paving Company, est le sondage dit de Fontcouverte ; après quelques traces bitumineuses de 105,50 à 112,79, il traverse la couche riche dont la coupe est donnée par la *fig.* 7 de la Pl. XX (hauteur réduite 0^m,80, coefficient de répartition 98,7 p. 100) et fut poursuivi jusqu'à 237,75 sans trouver autre chose qu'une faible imprégnation de 157,60 à 157,80 (si on prend la couche de 105,50 à 113,61, le coefficient de répartition n'est plus que de 9,8 p. 100).

Les pentes des couches relevées sur toutes les carottes de ces différents sondages varièrent de 5 à 25 p. 100, avec ordinairement une moyenne de 15 à 20, c'est-à-dire une inclinaison analogue à celle des assises lacustres de la région.

Le tableau suivant résume les résultats de ces six sondages :

	Hauteur minéralisée en mètres	Hauteur réduite en mètres	Coefficient de répartition
Sondage 6	12,85	6,02	46,8
— 8	13,50	6,50	48,1
— 9	16,55	10,56	63,8
— 13	14,68	4,95	33,7
— 10′	12,70	7,00	55,0
— 7	8,11	0,80	9,8

Travaux en couche d'Avéjan (Voir *fig.* 11). — Des travaux de la Société des Asphaltes de France (puits A)

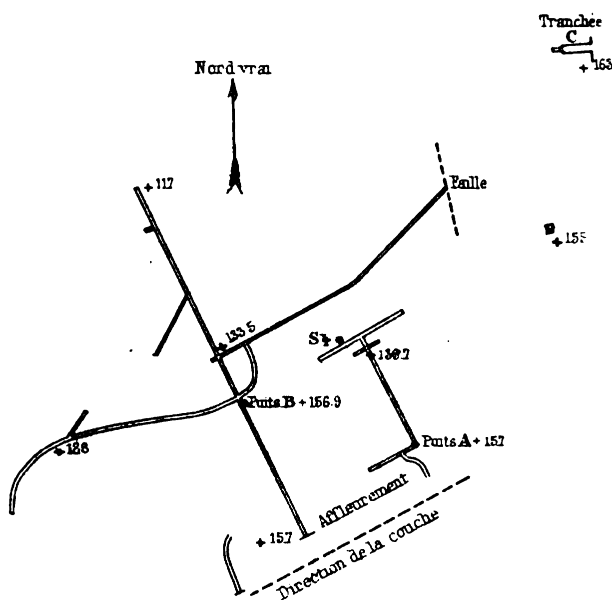


Fig. 11. — Travaux en couche d'Avéjan.

avaient montré en 1895 l'existence d'un horizon A assez faiblement minéralisé au Sud du village d'Avéjan. Le puits B, commencé en 1903 par la Société du Centre,

avait pour but non pas de rechercher la couche A, mais de voir si la couche de Saint-Jean-de-Maruéjols, exploitée depuis longtemps déjà, ne se prolongerait pas latéralement. On pensait la trouver à 60 mètres de profondeur ; on atteignit à $13^m,25$ de la surface une zone assez riche de :

$0^m,30$ d'asphalte à 9 p. 100.
$0^m,20$ — 15 p. 100.
$0^m,50$ — 3 p. 100.

L'examen superficiel des lieux donnait cette couche B à une dizaine de mètres au toit de la couche A, à 50 au-dessus de la couche de Saint-Jean espérée. A cause de sa richesse, on y traça une descenderie, deux galeries en direction et une remontée qui perça au jour.

Les sondages 8 et 6 ayant plus tard trouvé, à une profondeur correspondant aux prévisions, la minéralisation supposée prolongée de Saint-Jean, sans rien au toit de celle-ci, on pensa qu'une faille non visible au jour pouvait avoir relevé la région au Sud d'Avéjan et que la couche B ne serait autre que celle de Saint-Jean. Des

par un sondage 4 et le puits B, trouvèrent par travers-bancs la couche B à 9m,50 de la couche A; cette dernière aurait été reconnue encore, mais toujours pauvrement imprégnée, dans une tranchée C, où elle aurait été remontée d'une quinzaine de mètres par une faille limitant à l'Est les travaux en couche B du Centre. Un puits intérieur à partir des travaux A dans la couche B, non poussé à fond à cause des eaux, recoupa la minéralisation A sur 1m,05, beaucoup plus riche qu'au début (Pl. XX).

Les résultats des travaux du Centre en couche B avaient donné 11m,87 pour la couche, 7m,93 de hauteur réduite et 67,4 p. 100 de coefficient de répartition (*).

Toutes ces zones asphaltiques sont nettement interstratifiées dans les bancs calcaires lacustres.

Comment relier les résultats obtenus dans les diverses recherches précédentes entre eux et avec la couche exploitée dans la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols?

Auparavant, il nous faut faire quelques remarques. Tous les sondages ont traversé une série de formations calcaires et marneuses, dont les inférieures peuvent être attribuées à l'Infratongrien inférieur, dont la pente relevée sur les carottes reste constamment celle de 10 à 25 p. 100 des assises lacustres du bassin d'Alais aux affleurements, mais où il semble très difficile de faire des distinctions d'horizons dans les étages. En effet, dans des sondages voisins, quand même au jour on ne peut constater l'existence d'aucune faille ou d'aucune variation dans la nature de la roche d'un même horizon, on a trouvé des alternances tout à fait dissemblables de calcaires, de

(*) Des travaux de recherche en couche de la Société du Centre, il a été extrait une certaine quantité de roche asphaltique, dont 1.153 tonnes de teneur variant entre 8 et 12 p. 100 ont été expédiées, en 1905, aux usines de la Société qui avait obtenu des permis de disposer (14 novembre 1903 et 10 mars 1905).

ne constituent encore qu'une zone d'imprégnation de 28 mètres. On n'a donc, en somme, si on en excepte le sondage de Fontcouverte, reconnu en chaque point qu'un seul horizon asphaltique de puissance variable de 10 à 30 mètres. Il nous reste à voir si on peut assimiler ces divers résultats, si c'est un unique horizon asphaltique que l'on a plusieurs fois recoupé et si la couche de Saint-Jean-de-Marnéjols peut s'y rattacher.

Pentes des affleurements à S9 ——— 16.1 %
à S5 ——— 15.6 %
à S8 ——— 17.4 %
à S6 ——— 19.3 %
à S10 ——— 21.2 %
à Puits St Jean 19.6 %

Fig. 12.

Les résultats des sondages 5, 6 et 8, qui sont à moins de 200 mètres les uns des autres, et la comparabilité des couches traversées au point de vue de leur puissance, de leur minéralisation et de la profondeur rapportée au niveau de la mer à laquelle elles ont été trouvées, semblent exclure toute attribution de ces couches et des niveaux géologiques différents. La *fig.* 12, qui représente, suivant un plan vertical normal à la direction, la couche de Saint-Jean, les projections des couches recoupées, montre que nulle part on n'a une pente supérieure à 22 p. 100 entre les divers points ainsi marqués, alors que, dans les travaux de Saint-Jean, la pente moyenne atteint 19,6 p. 100, chiffre tout à fait comparable. L'assimilation des résultats des sondages 5, 6, 8 à celui du sondage 9 et à la couche de Saint-Jean paraît donc accep-

table au point de vue stratigraphique. On aurait donc un horizon unique asphaltique, de pendage moyen de 16 à 20 p. 100, qui, dans cette partie, pourrait varier de 2m,50 actuellement connus exploitables dans les travaux de la concession de Saint-Jean à 12 et 16 mètres dans la région des sondages, présentant un certain raplatissement à l'Ouest d'Avéjan.

La couche d'Avéjan peut se relier à cet horizon en faisant intervenir un système de failles provoquant une dénivellation totale de 70 à 80 mètres ; cette assimilation est tout à fait naturelle ; dans les parties situées à quelque distance des affleurements qui sont un peu redressés, le pendage et la direction sont semblables aux mêmes éléments de la couche de Saint-Jean ; la minéralisation reconnue se rapproche, par sa richesse et sa nature, de celle des sondages 5, 6, 8, 9 et 10'. L'existence de failles provoquant des dénivellations de la couche vers l'Ouest est connue, soit dans les travaux de Saint-Jean avec de faibles amplitudes ne dépassant pas 2 mètres, soit dans ceux d'Avéjan, où les travaux en couche B ont été limités, à l'Est, par une faille de direction et pendage correspondant à ceux de Saint-Jean et dont le rejet, ici plus important, doit être estimé à une quinzaine de mètres. L'existence de ce système de failles et de son rejet paraît donc très admissible ; elle expliquerait aussi les différences entre le puits B et les sondages 8, 6, 5, 9, 10' (*fig.* 13 et 14).

N'affectant que les travaux d'Avéjan, ce système X, que nous supposons de direction N.-15°-E. sensiblement, provoquerait donc un affaissement de toute la partie occidentale du bassin.

Il nous reste à placer maintenant, par rapport à l'horizon précédent, les sondages 7 et 14. Entre le sondage 7 et le puits B, la différence de cote entre les deux horizons est de 128 mètres pour 1.250 mètres de distance

horizontale, soit 10,2 p. 100 de pente ; la pente de l'horizon, 16-20 p. 100, suivant cette direction, serait de 12-15 p. 100. Ses travaux en couche d'Avéjan ont montré à peu de distance des affleurements une variation sensible de pente de 27 à 20 p. 100, et ceci pourrait expliquer la différence entre les deux chiffres précédents



Fig. 13.

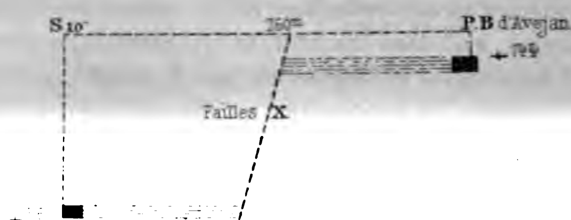


Fig. 14.

en attribuant aux bancs une continuation de raplatissement. Mais la direction prolongée de la faille limitant à l'Est les travaux en couche d'Avéjan laisserait de part et d'autre les travaux d'Avéjan et le sondage 7. L'asphalte du sondage 7 pourrait donc appartenir au même niveau, mais relevé par faille par rapport à Avéjan. Une dénivellation de 60 mètres, due soit à la faille précédente, soit à d'autres failles parallèles, ramènerait le pendage au chiffre théorique de 12-15 p. 100.

L'existence de cette faille combinée au système X pro-

duisant une dénivellation de 140 mètres, une coupe des affleurements de Saint-Jean au sondage 7 distante de 2.550 donnerait dans cette direction, à l'horizon asphaltique, une pente de 12,3 p. 100, la pente théorique pour 20 p. 100 étant de 12,9 p. 100, tout à fait analogue.

Le sondage 14 se trouve à l'Ouest des travaux de Saint-Jean, sensiblement sur une direction parallèle à celle de la couche de Saint-Jean avec le sondage 8, dont il est distant de 1.200 mètres environ; or il a trouvé l'asphalte dès la profondeur de — 139, ce qui donnerait, si l'on fait l'assimilation, un second affaissement de 194 mètres environ. Un accident très net des terrains se remarque d'ailleurs dans une tranchée de la route de Saint-Jean à Barjac, entre les sondages 3 et 9; on est là dans une zone brouillée où le pendage des assises peut atteindre 45 p. 100; cet accident, étant à l'Ouest du sondage 9, n'a pas affecté les résultats de ce sondage, qui a pu sinon ne pas le rencontrer, du moins passer à son mur; il expliquerait aussi pourquoi les sondages 1 et 2, quoique très près des travaux de Saint-Jean, n'ont pas recoupé de bancs asphaltiques, quoiqu'ils aient atteint 62 et 100 mètres (*fig.* 14).

Nous conclurons donc à l'existence d'un horizon unique de calcaire asphaltique de puissance pouvant atteindre une trentaine de mètres, auquel peuvent se rapporter tous les résultats obtenus dans les recherches de la région de Saint-Jean. La formation asphaltique, riche surtout aux environs d'Avéjan (travaux d'Avéjan, sondages 5, 6, 8) et au Nord de Saint-Jean (sondages 9 et 10'), est limitée à l'Est par les terrains plus anciens qui affleurent, s'enfonce progressivement vers le Nord-Ouest, par suite de son pendage, et vers l'Ouest par suite d'une série de failles sensiblement suivant N.-15°-E., s'appauvrit au Nord du côté de Fontcouverte, semble disparaître vers le Sud, puisque les travaux du sondage 15 n'ont rien

trouvé jusqu'à — 365, et s'étend vers l'Ouest d'une façon encore inconnue. On aurait donc interstratifié, dans les

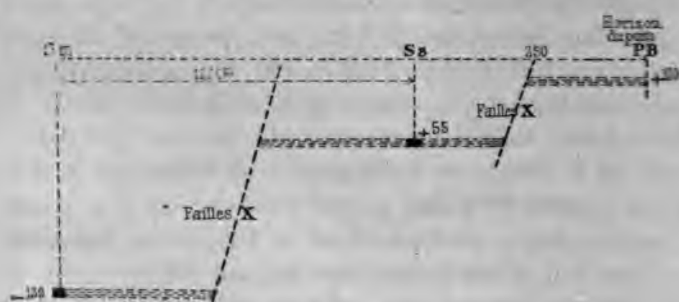


Fig. 15.

calcaires lacustres, une zone bitumineuse dont la superficie reconnue actuellement serait d'environ 130 hectares.

§ II. — RECHERCHES DIVERSES.

Deux sondages pour bitume ont été effectués en 1904-1905 au Nord d'Auzon et au Sud de Saint-Jean-de-Maruéjols par M. Barrillon. Le premier, à 500 mètres à l'Est d'Auzon, sur la rive gauche de l'Auzonnet, traverse une formation marno-calcaire sur une hauteur de 448m,40, sans trouver autre chose entre 210 et 227 que des traces bitumineuses dans un calcaire crevassé de silex. Le second, fait à 1.200 mètres au Nord du précédent et toujours sur la rive gauche de l'Auzonnet, à 6 kilomètres au S.-S.-O. de Saint-Jean, ne fut pas plus heureux et, poussé jusqu'à la profondeur de 445m,80, ne trouva pas trace de bitume.

Un sondage de la Société du Val de Travers, à Rivière, à 2.200 mètres au S.-S.-O. du sondage 11 de la région de Saint-Jean, à 1.750 mètres au N.-O. du second son-

dage Barrillon, traversa, en 1904, 100 mètres de terrains sans résultats également.

Ces trois sondages, qui explorèrent la région comprise entre la concession de Saint-Jean et la série des concessions asphaltiques du Sud, ne trouvèrent rien d'exploitable. Entamés dans l'Infratongrien ou le Tongrien, ils semblèrent montrer que, dans cette partie, l'Infratongrien n'existait pas ou n'était pas minéralisé, et que la lentille de Saint-Jean n'avait pas de pareille au Sud.

Quelques travaux ont aussi été faits à des époques diverses sur quelques affleurements asphaltiques, dans des parties autres du bassin tertiaire d'Alais.

Près de Milhaud, dans une tranchée du chemin de fer d'Alais à Montpellier, on trouva des bancs de calcaire à imprégnation bitumineuse très irrégulière sur une hauteur de 4 mètres ; le bitume suintait de cassures de la roche ; la direction des bancs était O.-N.-O., et l'inclinaison N.-N.-E. était de 40° environ. Le gisement était d'ailleurs peu riche et ne fut jamais exploré sérieusement ; les calcaires minéralisés semblent appartenir à l'étage néocomien.

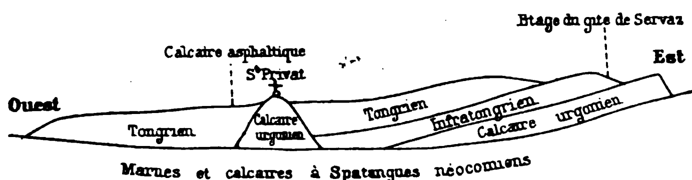


Fig. 16. — Coupe à Saint-Privat.

Plus importantes furent les recherches de Saint-Privat-des-Vieux (localité de l'arrondissement d'Alais, à 5 kilomètres à l'O.-N.-O. de Mons), faites sur un affleurement de calcaire asphaltique paraissant très nettement, au point de vue géologique, au-dessus du niveau exploité

à Servas. Les travaux, effectués vers 1873, explorèrent un banc de calcaire bitumineux épais de $1^m,50$ environ, de direction N.-N.-E., plongeant de 15° vers l'Est, surmontant un conglomérat d'une puissance de $0^m,40$, à galets calcaires avec ciment bitumineux. La roche, qu'elle appartînt à l'un ou l'autre de ces deux niveaux, était d'ailleurs impropre à tout usage industriel (*fig.* 16).

CHAPITRE VI.

CONCLUSION.

Les gisements asphaltiques du bassin du Gard se présentent donc finalement, du moins pour la majeure partie et, en tous cas, pour tous ceux qui ont une importance industrielle, comme constitués par une série d'épanchements dans les formations lacustres, s'étendant à peu de distance à l'Ouest du contact des terrains secondaires et tertiaires.

Non seulement les gîtes apparaissent dans leur ensemble comme interstratifiés dans l'Infratongrien, mais encore il y a dans la roche asphaltique une stratification très nette, les filaments bitumineux se séparant fréquemment en zones parallèles des parties stériles ou plus pauvres, formant ainsi la roche striée caractéristique. D'aucuns ont voulu voir dans ce fait la preuve très nette d'une formation sédimentaire contemporaine de celle des assises lacustres, le bitume pouvant provenir soit d'anciens gîtes ayant subi un remaniement à l'époque tertiaire et venant se déposer sur les bords d'un rivage, soit de sources minérales bitumineuses qui débouchaient au fond de lagunes, le bitume se déposant alors en même temps que les calcaires.

La première théorie s'appuyait sur le fait qu'en certains

points de la région, dans le Néocomien et le Cénomanien, on connaissait soit du bitume à l'état de traces dans des grès ou des calcaires, soit des schistes bitumineux jadis exploités à Vagnas dans l'Ardèche, gîte sur lequel nous donnons quelques indications dans une annexe ; la seconde, sur ce que certaines sources minérales de la région, en particulier celles des Fumades et d'Euzet-les-Bains, ont une légère teneur en matières bitumineuses (ceci pourrait d'ailleurs simplement être dû à la proximité de gîtes bitumineux dans lesquels auraient circulé les eaux alimentant ces sources, gîtes d'ailleurs connus près des sources des Fumades).

A cette hypothèse sédimentaire, on a opposé celle de l'imprégnation postérieure des roches par des vapeurs hydrocarburées amenées par des faibles vapeurs dues soit à des émanations volcaniques, soit à une distillation de houilles voisines (celles du bassin d'Alais).

Quoi qu'il en soit de ces diverses théories, les calcaires asphaltiques du Gard sont connus dès à présent comme étant d'une richesse notable, et particulièrement aptes à la préparation des divers produits, mastic ou poudre asphaltique, nécessaires pour les emplois industriels. Il reste à souhaiter que le zèle des chercheurs ne se ralentisse pas, et que les résultats déjà obtenus soient un stimulant de plus pour de nouveaux travaux. Quand bien même les gisements n'auraient de chance d'être rencontrés que sur la bordure du secondaire et du tertiaire, il y a là encore un champ suffisamment vaste pour tenter les chercheurs.

Janvier 1906.

ANNEXE.

SCHISTES BITUMINEUX DE VAGNAS (*).

Le gisement de Vagnas, qui semble être la dernière manifestation hydrocarburée de la région d'Alais vers le Nord, se trouve dans le département de l'Ardèche ; mais l'imprégnation bitumineuse a affecté ici non plus des calcaires, mais des schistes situés dans un étage formé par des alternances d'argiles, de grès, de sables réfractaires et de schistes. Indépendamment des schistes bitumineux, on trouve aussi dans ce même horizon géologique des lignites qui se poursuivent plus au Sud par ceux exploités à Connaux ou à Pont-Saint-Esprit, dans le Gard. L'âge de cette formation est nettement antérieur à celui du bassin asphaltique précédemment décrit, puisqu'une coupe faite dans la concession de Vagnas donne :

I. Calcaires à *Chama ammonia* du Néocomien supérieur ;

II. Grès verts, marnes et calcaires à *Ostrea aquila* de l'Aptien ;

III. Couches à lignite et schistes bitumineux ;

IV. Calcaires à *Hippurites cornuvaccinum* et à Nérinées du Turonien ;

V. Tertiaire inférieur lacustre.

Les couches imprégnées seraient donc intermédiaires entre le Turonien et l'Aptien, cénomaniennes comme les lignites de Pont-Saint-Esprit. Elles ont une direction N.-S., un pendage 25° O.

L'exploitation a porté à Vagnas sur deux quartiers

(*) La concession de lignite et schistes bitumineux de Vagnas a été instituée par l'ordonnance du 13 janvier 1842 ; elle portait primitivement sur 195 hectares ; un décret du 26 septembre 1859 l'a étendue à 397 hectares.

limités au Nord et au Sud par deux failles que l'on n'a pas cherché à traverser. Les galeries partaient du jour, exploraient le gisement suivant le pendage; les eaux n'ont pas permis, à cause de l'imperfection des procédés d'épuisement employés, de s'avancer à plus de 300 mètres du jour. Dans l'un des quartiers, on exploitait le lignite nécessaire à l'usine de distillation ; dans l'autre, les schistes.

Deux couches bitumineuses étaient connues : l'inférieure, dite de Réal, avait une ouverture de $1^{m},50$, la pauvreté de l'imprégnation la rendait inexploitable ; son toit était constitué par un banc de pyrite de $0^{m},10$, surmonté de $0^{m},90$ d'un lignite pyriteux et cendreux, et enfin de schistes terreux.

Au-dessous des calcaires à Hippurites, et au-dessus de l'étage du Réal, se trouvait la couche de schistes bitumineux exploitée, ou couche de Champerebat ; c'étaient des schistes noirs et brillants, à cassure conchoïde, d'une puissance moyenne de $1^{m},80$, qui donnaient à la distillation des produits tout à fait comparables, comme quantité et comme qualité, à ceux obtenus avec les schistes bitumineux d'Autun. On avait, aux 100 kilogrammes de schistes soumis au traitement, comme produits marchands, $3^{kg},500$ d'huiles d'éclairage, $1^{kg},600$ de goudrons et $0^{kg},400$ de paraffine, pour 12 kilogrammes d'huiles brutes. On avait également des eaux ammoniacales et sulfhydratées que l'on n'utilisait pas, et des gaz qui servaient à l'éclairage de l'usine.

L'usine de distillation était installée sur le carreau même de la mine. La concurrence des produits de l'Amérique et du Caucase, les frais qu'aurait nécessités la remise en état des travaux, ont empêché toute reprise sérieuse de l'exploitation arrêtée depuis 1869. La mine avait été en activité de 1859 à 1869, années pendant lesquelles l'extraction moyenne annuelle avait été de

6.000 tonnes de schistes et 1.800 de lignites brûlés à l'usine.

TABLE DES MATIÈRES.

BULLETIN.

CONCOURS OUVERT A SAINT-PÉTERSBOURG POUR DES APPAREILS D'ATTELAGE AUTOMATIQUE DES WAGONS DE CHEMINS DE FER.

Comme suite au concours ouvert par le Congrès général des représentants des chemins de fer russes en septembre 1901 (*), pour l'élaboration des meilleurs projets d'appareils d'attelage automatique des wagons, et d'après la déclaration faite, en 1903, par le même Congrès concernant la nomination, avec le consentement de M. le Ministre des voies de communication, d'une Commission spéciale pour l'examen préalable des projets présentés, il est porté à la connaissance du public que les résultats des travaux de la susdite Commission ont été communiqués au Congrès consultatif des Ingénieurs du service du matériel roulant et de la traction, qui a donné les conclusions suivantes :

1° Comme aucun des projets d'attelage automatique des wagons qui ont été présentés ne satisfait à toutes les conditions fixées par le programme du concours annoncé en septembre 1901 par le Congrès général, les deux premiers prix, l'un de 5.000 roubles et l'autre de 3.000 roubles, ne peuvent être décernés;

2° Reconnaissant que, de tous les projets présentés, celui qui porte la devise « L. B. » est le plus conforme aux conditions exigées, l'auteur de ce projet, M. l'Ingénieur Boireau, est reconnu digne de recevoir le 3° prix, de la valeur de 1.000 roubles.

Ces conclusions de la Commission décernant le 3° prix de 1.000 roubles à M. l'Ingénieur Boireau ont été approuvées par le Congrès général des représentants des chemins de fer russes, en mai 1906, et viennent d'être confirmées par M. le Ministre des voies de communication.

Conformément aux conditions du Congrès général, ce dernier ne se chargeant pas de renvoyer par la poste, ou par toute autre voie, les plans ou les modèles présentés au concours, ces derniers peuvent être repris par leurs auteurs, personnellement ou

(*) Voir *Annales des Mines*, 2° volume de 1901, p. 403.

par procuration, aux termes suivants : les plans et les dessins dans l'espace d'une année, et les modèles dans l'espace de six mois à dater de la présente publication ; à l'expiration de ces délais, les plans et les modèles non réclamés seront détruits.

NOTE SUR LE GRISOUMÈTRE SIMPLIFIÉ DE M. LE PROFESSEUR N. GRÉHANT.

L'ancien appareil, décrit en 1894 par M. Gréhant dans l'*Encyclopédie Léauté* (*Les Gaz du sang*, p. 21), est suffisamment connu des industriels par le mémoire de M. Gréhant inséré dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* (1897) et par sa description dans le tome I (p. 962) du *Traité d'Analyse* de M. A. Carnot. Il est très volumineux et d'un maniement assez délicat : aussi ne s'est-il pas répandu dans la pratique des mines.

Le *grisoumètre simplifié* est d'un maniement beaucoup plus commode et se prêterait mieux que l'ancien appareil à des dosages de laboratoire dans les mines grisouteuses. Comme sa publication est assez récente et que sa description n'a pas été donnée dans les ouvrages ou périodiques industriels, il n'est pas encore, croyons-nous, connu des exploitants de mines.

Basé, comme l'ancien appareil, sur le principe de l'appareil Coquillion, le grisoumètre simplifié de M. le Professeur Gréhant se compose (Voir la *fig.* 1 ci-contre) d'une ampoule cylindrique A, à l'intérieur de laquelle est soudée une spirale de platine qui reçoit, par deux tubes de verre remplis de mercure et par des fils de cuivre couverts de gutta-percha, le courant d'une batterie de 10 accumulateurs.

L'ampoule porte à sa partie supérieure un robinet pointeau permettant l'introduction du gaz à analyser, et à sa partie inférieure un long tube *t* gradué à partir de la soudure avec l'ampoule et muni d'un robinet ordinaire que l'on met en communication, par un tube en caoutchouc, avec un réservoir à eau M mobile au moyen d'un petit treuil.

L'ampoule A est plongée dans une cuve C à courant d'eau continu pour maintenir la température constante pendant toute la durée des opérations. On commence par déterminer le rapport entre le volume d'une division du tube *t* et celui de l'ampoule A en mesurant ou pesant les volumes d'eau qui s'écoulent d'abord

de l'ampoule, puis du tube, l'appareil ayant été rempli entière-

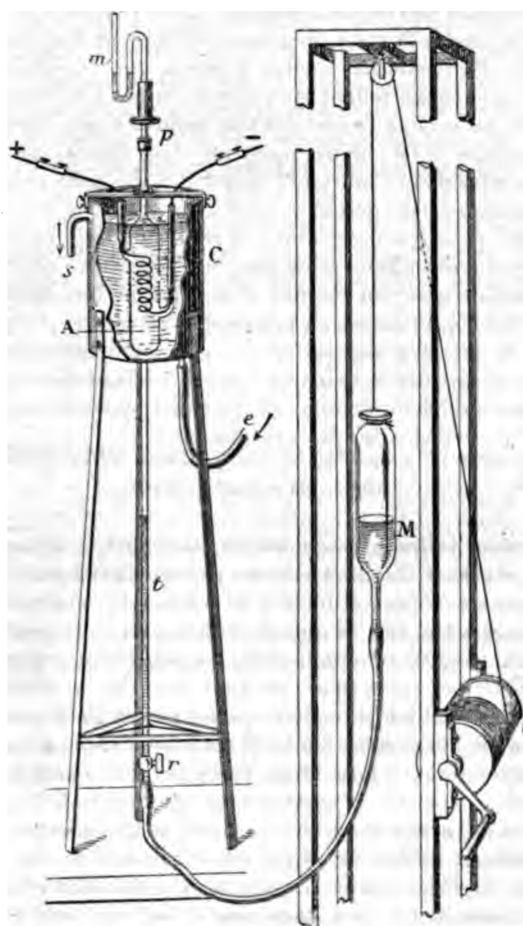
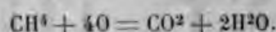


Fig. 1. — Grisoumètre simplifié de M. le Professeur Gréhant.

A, ampoule avec spirale de platine ; *t*, long tube gradué ; *p*, robinet pointeau ; *m*, manomètre à eau ; *r*, robinet inférieur ; M, ampoule mobile ; *l*, treuil ; *e*, entrée ; *s*, sortie de l'eau dans la cuve C.

ment d'eau, au préalable, par un jeu convenable du réservoir M et du robinet pointeau.

Pour faire l'analyse d'un gaz grisouteux, on l'aspire de son récipient dans l'ampoule A, préalablement remplie d'eau, par un jeu convenable du robinet pointeau et du réservoir, de façon à ce que, mesuré à la pression atmosphérique (ce dont on s'assure au moyen d'un petit manomètre à eau *m* que l'on substitue au tube en caoutchouc reliant le récipient du gaz à analyser à l'ampoule), le gaz occupe l'ampoule et un nombre convenable de divisions du tube *t*. Le robinet pointeau étant fermé, on élève le réservoir M jusqu'à ce que tout le gaz soit rentré dans l'ampoule A, et l'on fait passer le courant jusqu'à ce que tout le formène soit brûlé (400 passages de courant en trois ou quatre minutes). On attend quelques minutes pour que la température revienne à sa valeur initiale grâce au courant d'eau continu (un thermomètre au 1/10e de degré permet, au besoin, de s'en assurer) ; on ramène le gaz à la pression atmosphérique, et la diminution de volume permet de conclure la teneur en grisou, sachant que cette diminution est double du volume de formène contenu dans le mélange, d'après l'équation de la combustion :



$$CH^4 + 4O = CO^2 + 2H^2O.$$

Suivant les volumes respectifs de l'ampoule et d'une division du tube, on peut obtenir à volonté une sensibilité plus ou moins grande pour avoir une réduction de volume de 10 divisions avec un mélange à 1 p. 100, ce qui est suffisant pour la pratique des mines. On peut se contenter d'une ampoule d'une quarantaine de centimètres cubes pour un tube dont 50 divisions ont un volume de 4 centimètres cubes : l'appareil est ainsi peu volumineux et d'un maniement facile. Il faut, bien entendu, se garder d'introduire dans l'appareil un mélange inflammable dont la combustion explosive briserait à coup sûr l'ampoule.

Comme l'appareil Coquillion primitif, le grisoumètre simplifié de M. Gréhant diffère de l'appareil à combustion de M. H. Le Chatelier en ce que, dans celui-ci, les teneurs sont estimées par des variations de pression le volume étant toujours ramené à la même valeur, tandis que dans le grisoumètre Gréhant les lectures se font à pression constante et à volume variable. Suivant l'habileté des opérateurs, l'un et l'autre appareil présentent des avantages spéciaux : les variations de volume sont peut-être plus à la portée de simples manœuvres que les variations de pression, ce qui est à considérer pour des laboratoires industriels.

Comme avec l'appareil Gréhant on opère sur l'eau, la solubilité

du CO^2 produit peut accroître indûment la diminution de volume ; il est vrai que, la surface de contact entre l'eau et le gaz étant très faible, la quantité de CO^2 dissoute doit être très faible. De plus, le tube *t* étant entièrement hors de la cuve C à courant d'eau, il peut se produire une petite erreur due à la différence de température entre l'air extérieur et la cuve C. Ces causes d'erreur n'existent pas dans l'appareil Coquillion-Le Chatelier, où l'on opère sur le mercure, dans une enceinte entièrement plongée dans une cuve à eau dont on prend la température avant et après la combustion.

Quoi qu'il en soit, les chiffres cités par M. Gréhant d'après ses propres expériences montrent que ces deux causes d'erreur sont en tous cas peu importantes pour une pratique courante.

PRODUCTION MINÉRALE DE LA BIRMANIE EN 1905.

La Birmanie possède des richesses minérales assez importantes, mais dont l'utilisation est encore loin d'avoir atteint son plein développement.

Voici, d'après les relevés statistiques de 1905, quelles ont été les principales substances minérales extraites et quelle en est la valeur.

L'or se rencontre à l'extrémité nord du territoire, vers la frontière chinoise, dans le district de Myitkyiuna, où il existe du quartz aurifère, et ce district a fourni à lui seul 620 onces ($19^{kg},284$), d'une valeur de 37.178 roupies.

En 1894, la Compagnie formée pour extraire l'or du sable des rivières, sous le nom de *Burma gold dredging Co.*, avait produit 214 onces d'or ($6^{kg},656$) en employant une seule drague ; en 1905, elle a employé deux machines, mais n'a pas encore fourni le relevé de ses lavages.

Le pétrole donne un rendement total de 142.063.846 gallons (*), d'une valeur de 8.891.907 roupies, ainsi réparti :

(*) 1 gallon = $4^{lit},54$.

Akyab...........	53.435 gallons	=	15.420 roupies
Kyaukpyu.......	60.947 —	=	23.934 —
Pakokku........	18.759.818 —	=	1.561.176 —
Magwè..........	85.648.749 —	=	4.945.077 —
Myingyan.......	37.541.177 —	=	2.346.300 —

Magwè est la principale source de production, et de nouveaux sondages ont été effectués par la *Burma oil Co.* Les nouveaux puits dans le bassin de Singu, district de Myingyan, donnent de beaux résultats et produisent une grande quantité d'huile.

En ce qui concerne les pierres précieuses, il existe des mines de rubis dans le district de Myitkyiuna, mais elles sont encore à l'état primitif, et le Gouvernement n'a réalisé, sur elles, comme produit de droits de licence, que la somme de 240 roupies.

Dans le Ruby Mines district (dénomination officielle du district où se trouvent les principales mines de rubis), la *Ruby Mines Co.* continue de prospérer; cependant les nouvelles recherches n'ont pas donné d'aussi beaux résultats que l'année précédente, et les revenus n'ont été que de 181.932 roupies, alors qu'en 1904 ils étaient de 261.623 roupies. Depuis le mois de janvier jusqu'au mois d'avril 1905, le marché a été calme ; en mai il s'est relevé, et jusqu'au 31 décembre 1905 la demande a été plus forte pour toutes les qualités. Les recettes de la Compagnie, pendant l'année entière, ont été de 1.391.500 roupies, et les dépenses de 1.062.775 roupies.

Le district de Myitkyiuna fournit également de l'ambre ; on en a extrait en 1905 pour une valeur de 14.180 roupies, et il est à noter que la production s'accroît d'année en année, à mesure que la tranquillité est mieux assurée dans la région.

Les mines de jade de Myitkyiuna avaient été, en 1904, inondées par suite de pluies précoces ; en 1905, les conditions ont été plus favorables, et on a extrait pour 271.027 roupies de jade.

On a trouvé aussi du jade à Mawlu, district de Katha, mais il est de qualité inférieure.

Deux cent trente-deux licences ont été accordées en 1905 dans le Ruby Mines district pour la tourmaline, dont il a été produit 161 livres, d'une valeur de 22.400 roupies.

Un prospecteur a découvert quelques spécimens de diamants à Mawlu, mais jusqu'à présent aucune pierre de quelque valeur.

Parmi les autres richesses minérales de la Birmanie, le cuivre et l'étain sont les produits les plus importants. A Mandalay, on a

extrait 70.000 livres de cuivre pour une valeur de 6.300 roupies. Quant à l'étain, Tavoy en a fourni pour 1.194 roupies, et Mergui pour 145.181 roupies, soit environ 75 tonnes. Le Gouvernement a délivré en 1905 beaucoup de licences pour la recherche du cuivre, du plomb et de l'étain.

A part les mines de rubis et les pétroles, qui sont en exploitation depuis de longues années, toutes les autres richesses minérales commencent seulement à attirer l'attention; mais il ne paraît pas douteux que le sous-sol de la Birmanie soit destiné à fournir une part importante de revenus.

(*Extrait d'un* Rapport *adressé à* M. le Ministre des Affaires étrangères par M. Dautremer, Consul de France à Rangoon.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BAVIÈRE EN 1905.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	NOMBRE d'ouvriers
1° *Mines et Salines.*			
	tonnes	francs	
Houille	1.178.360	16.926.512	7.990
Lignite	137.138	500.305	541
Minerai de fer	182.389	1.957.140	874
Pyrites	3.301	49.747	44
Graphite	4.921	261.050	293
Sel gemme	911	18.230	103
Sel extrait par dissolution	42.591	2.382.182	245
2° *Usines.*			
Fonte brute	94.242	6.580.097	475
Fonte moulée de premiere fusion	24	3.082	—
Fer en barres	36.459	6.306.032	2.336
Fil de fer	17.375	2.089.200	—
Fer et acier fondus	134.755	18.511.522	1.213

(*Extrait de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.)

TABLEAU RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION DES MINERAIS ET MÉTAUX EN GRÈCE DE 1900 A 1903.

NATURE DES PRODUITS	1900		1901		1902		1903	
	Poids	Valeur	Poids	Valeur	Poids	Valeur	Poids	Valeur
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs
Minerai de fer	525.699	5.256.990	501.592	5.015.920	546.409	5.464.090	416.711	3.205.810
Minerai de fer manganésifère	—	—	—	—	—	—	126.773	1.703.224
Minerai de manganèse	8.050	241.500	18.076	542.280	14.962	448.860	9.923	165.415
Minerai de zinc	14.846	1.684.360	20.926	1.883.340	18.020	1.681.800	15.134	1.401.757
Minerai de plomb	11.863	474.520	14.787	547.119	19.527	722.499	—	—
Minerai de chrome	5.600	224.000	4.580	183.200	11.680	467.200	7.678	268.137
Lignite	13.191	171.483	12.690	126.900	8.546	85.460	13.827	152.238
Magnésite	17.277	345.540	13.507	162.084	32.562	390.744	37.209	678.137
Soufre	855	76.950	2.356	210.240	1.391	125.190	1.201	158.785
Émeri	6.328	670.768	5.691	606.092	4.727	503.426	5.567	592.906
Marbres (*)	655	13.100	3.155	694.100	4.737	1.326.360	5.105	1.438.474
VALEUR TOTALE (francs)	9.158.311		9.971.275		11.215.629		9.764.883	
Plomb argentifère en lingots	8.556	4.070.350	17.644	7.939.800	15.668	7.050.600	15.969	6.689.556

(*) Bien que le marbre ne soit pas compris dans les produits des mines, on en a indiqué la production à cause de son importance.

(*Extrait d'un* Rapport *adressé à* M. le Ministre des affaires étrangères *par* M. D'ORMESSON, Ministre de la République Française en Grèce).

RAPPORT
SUR L' " AUTOLOC "

DISPOSITIF DE BLOCAGE AUTOMATIQUE ET INSTANTANÉ

PRÉSENTÉ AU COMITÉ DE L'EXPLOITATION TECHNIQUE DES CHEMINS DE FER AU NOM DE LA COMMISSION DES INVENTIONS

Par M. RÉSAL, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

M. Croizier, directeur de la Société française de l'Autoloc, 50, quai Saint-Vincent, à Lyon, a adressé au Ministre des Travaux publics un modèle de son dispositif de blocage automatique et instantané, avec une notice à l'appui.

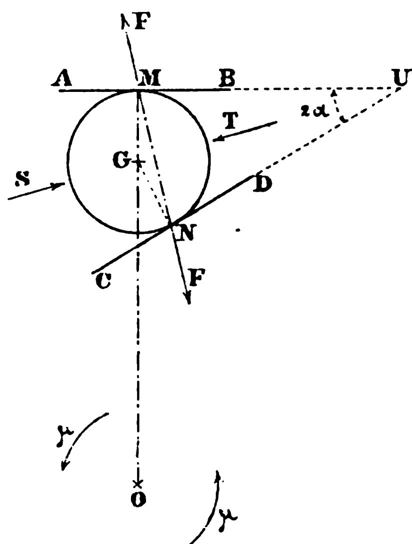


Fig. 1.

L'autoloc est un appareil original et intéressant, qui est basé sur le principe de mécanique suivant :

Soient : AB (*fig.* 1) un élément de plan vertical fixe; CD un élément de plan vertical pouvant tourner autour de l'axe également vertical O; 2α l'angle mutuel AUD de ces deux plans ; OM le plan perpendiculaire à AB mené par l'axe O.

Une bille sphérique G, intercalée entre les deux éléments plans, est maintenue en contact avec eux aux points M et N par une force S, assez petite, qui tend à chasser la bille dans la direction de G vers U. Cette force résulte, dans l'appareil, de la compression initiale d'un ressort à boudin.

Supposons que l'on cherche à faire tourner autour de l'axe O l'élément plan CD, de gauche à droite, dans le sens indiqué par la flèche S : cette bille G éprouvera un déplacement dans le sens de G vers U, et reprendra son contact avec le plan CD.

Supposons, au contraire, que l'on cherche à faire tourner autour de l'axe O l'élément plan CD de droite à gauche, dans le sens inverse de la flèche S, en appliquant au système invariable constitué par l'élément CD et l'axe O un couple μ. Cherchons la condition nécessaire pour que la bille G se coince entre les deux plans et fasse obstacle au déplacement de CD.

Les réactions mutuelles F de la bille et des deux plans, qui se font équilibre, sont dirigées suivant la corde MN reliant les points de contact. La grandeur F de cette réaction se calcule par la formule d'équilibre statique : $F = \frac{\mu}{\rho \sin \alpha}$, où la lettre ρ désigne la distance OM de l'axe au plan fixe AB.

La force F peut être remplacée par une composante normale à chaque plan F cos α, et par une composante tangentielle F sin α.

Les deux composantes tangentielles F sin α tendent à déplacer la bille G dans le sens inverse de la flèche S, en la faisant glisser sur les deux plans en M et en N, dans la direction de A et de C.

Mais le mouvement ne peut se produire que si les deux forces F sin α sont supérieures à la somme de la force S et des deux forces de frottement F cos α tg φ, détermi-

nées par les pressions normales F cos α. La lettre φ désigne ici l'angle de frottement du métal constitutif de la bille sur l'un ou l'autre plan.

La condition, pour qu'il y ait coincement de la bille entre les deux plans, s'écrit donc comme il suit :

$$\frac{S}{2} + F \cos\alpha \operatorname{tang}\varphi > F \sin\alpha,$$

ou :

$$\operatorname{tang}\alpha < \operatorname{tang}\varphi + \frac{3}{2F \cos\alpha},$$

ou :

$$\alpha < \varphi + \varepsilon.$$

Dans les conditions où l'appareil fonctionne, la force S est toujours très petite en comparaison de la force F. L'angle ε est donc négligeable, et la condition précédente peut s'écrire :

$$\alpha < \varphi.$$

Il suffit ainsi, pour qu'il y ait blocage du système, que l'angle mutuel 2α des deux plans soit inférieur, ou tout au plus égal au double de l'angle de frottement φ.

Supposons maintenant que l'on veuille dégager la bille pour permettre à la rotation du plan CD de s'effectuer dans le sens inverse de la flèche S. Il faudra exercer directement sur cette bille un effort T, de sens opposé à S, qui satisfasse à l'inégalité :

$$\frac{S}{2} + F \cos\alpha \operatorname{tang}\varphi < F \sin\alpha + \frac{T}{2},$$

ou :

$$T > \frac{2F \sin(\varphi - \alpha)}{\cos\varphi} + S.$$

Cette condition peut encore s'écrire sous une autre forme :

$$T > \frac{2\mu}{\rho} (\operatorname{cotang}\alpha \operatorname{tang}\varphi - 1) + S.$$

La force T sera d'autant plus petite que l'angle α sera plus voisin de φ.

Les conditions de fonctionnement de cet appareil sont donc les suivantes :

Il n'y a jamais blocage dans le sens de la flèche S ; le plan CD peut tourner librement, la bille restant toujours au contact des deux plans, sous l'influence du ressort de rappel qui donne lieu à la force S.

Pour qu'il y ait blocage dans le sens de la flèche T, il faut que l'angle α ne soit pas plus grand que l'angle de frottement φ, ou tout au moins ne le dépasse pas de la quantité ε. Dans l'hypothèse contraire, le moindre couple de rotation μ entraînerait le glissement de la bille. On pourrait d'ailleurs corriger l'appareil en augmentant la compression initiale S du ressort de rappel, et par suite l'angle ε, jusqu'à ce que la somme $\varphi + \varepsilon$ devînt supérieure à α.

Pour débloquer la bille, il suffit d'exercer directement sur elle un effort T, de sens contraire à S, qui sera d'autant plus petit que l'angle α sera plus voisin de φ.

Au point de vue de la sûreté et de la facilité du fonctionnement de l'appareil, il convient donc d'attribuer à l'angle α une valeur inférieure, mais de très peu, à l'angle φ.

Il importe d'ailleurs, pour un autre motif, de ne pas trop réduire l'angle α. En effet, l'effort de compression F subi par la bille se calcule par la relation :

$$F = \frac{\mu}{\rho \sin \alpha}.$$

Or plus l'angle α diminue, plus la force F augmente. Par exemple, si les surfaces de contact de la bille et des plans sont polies et lubréfiées, on peut admettre que tg α s'abaisse à 0,05. On trouve, dans ces conditions, en posant $\alpha = \varphi$:

$$F = \frac{20\mu}{\rho}.$$

Pour que l'appareil soit maniable, on peut être conduit à n'attribuer au rayon ρ ou OM qu'une faible longueur. Il en résulte qu'un petit couple de rotation μ donnera lieu à un effort de compression F considérable, capable de briser la bille, ou tout au moins de la déformer par écrasement, au voisinage de ses contacts avec les plans. L'appareil se trouvera mis hors de service.

Il peut y avoir intérêt, pour ce motif, lorsque l'appareil doit résister par blocage à un couple de rotation μ très élevé, à ne pas réduire outre mesure l'angle de frottement φ, ce qui peut s'obtenir en substituant aux surfaces polies des surfaces simplement doucies, c'est-à-dire légèrement rugueuses, et s'abstenant de tout graissage. En toute hypothèse, il convient d'employer pour la bille et les deux plans un métal extrêmement dur et résistant, en lui donnant au besoin une trempe superficielle.

Pour que l'appareil puisse être bloqué dans les deux sens S et T, il faut doubler le dispositif décrit ci-dessus par un autre identique, mais symétriquement disposé par rapport à un plan vertical mené par l'axe O.

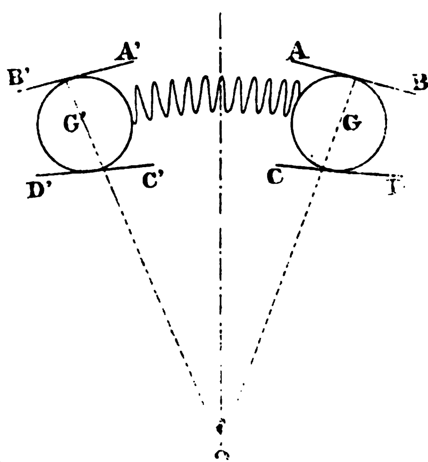


Fig. 2.

Les deux billes G et G' (*fig.* 2) sont réunies par un ressort à boudin qui est soumis, lors du montage, à un effort de compression initial et permanent, pour assurer les contacts des billes avec les plans correspondants.

Cet appareil réalise, en définitive, une sorte de double encliquetage. Étant donné deux leviers *a* et *b* (*fig.* 3), dont l'un est invariablement relié à une surface cylindrique tangente aux plans CD, et l'autre à une surface cylindrique tangente aux plans AB, on peut les caler l'un sur l'autre, sous un angle β choisi à volonté, par une manœuvre n'exigeant de la part du mécanicien qu'un effort très faible T.



Fig. 3.

Si l'appareil a été bien conçu et convenablement monté ($\alpha < \varphi$), le blocage est absolu. Quel que soit l'effort de rotation μ exercé sur le levier *b*, l'angle β restera invariable tant qu'il n'y aura pas rupture ou écrasement d'une bille, ou d'une surface cylindrique.

Rien n'empêche, d'ailleurs, si l'on veut avoir un autoloc très robuste, de multiplier le nombre des dispositifs à deux billes : on peut en mettre dans le même plan une couronne de 4, 6 ou 8, accouplées deux à deux par un ressort à boudin.

Rien n'empêcherait, au besoin, de réaliser un autoloc à couronnes superposées comportant une série d'étages de billes. En définitive, nous estimons qu'il sera toujours possible de surmonter la difficulté résultant de la grandeur relative de la force F par rapport au couple μ, et d'obtenir un appareil aussi résistant qu'il sera nécessaire, en augmentant suffisamment le nombre des billes de blocage.

Les quatre figures ci-jointes (*fig.* 4 à 7) feront suffisamment comprendre le mode de construction de l'autoloc.

La lettre A désigne le levier de connexion indépendant de la manette de manœuvre. Ce levier fait corps avec la boite renfermant le dispositif de blocage. La paroi intérieure de la boite est dressée suivant une surface cylindrique, à profil circulaire, qui est l'enveloppe des

plans AB de la figure de démonstration intercalée dans le texte précédent.

Pendant la manœuvre les billes glissent, sans rouler, sur la surface cylindrique.



Fig. 4.

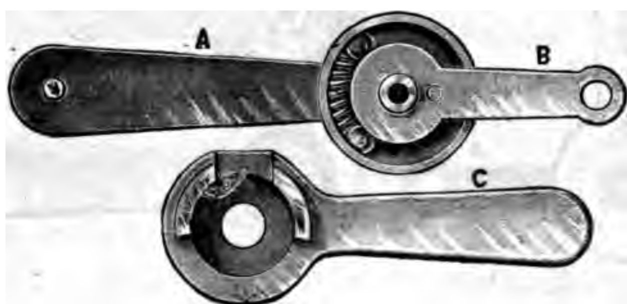


Fig. 5.

La lettre B désigne le levier de connexion solidaire de la manette de manœuvre. Ce levier fait corps avec un noyau central, ou came, concentrique à la boite, mais monté sur un axe indépendant. La surface périphérique de ce noyau est un cylindre à profil elliptique, qui est tan-

gent aux deux plans CD et C'D' de la figure de démonstration (*fig.* 2). Les billes sont appuyées sur cette surface cylindrique en ses points de contact avec les plans précités. Pendant la manœuvre, elles conservent toujours la même position par rapport au noyau.

La lettre C désigne la manette de manœuvre, qui fait corps avec le couvercle plat de la boite. Ce couvercle est armé de deux saillies, en forme de fourche, qui remplissent exactement les vides existant entre la paroi de la boite, la périphérie du noyau, une bille et le levier B. Quand on agit sur la manette, une de ces saillies pousse la bille avec laquelle elle est en contact, tandis que l'autre fait subir dans le même sens un déplacement angulaire

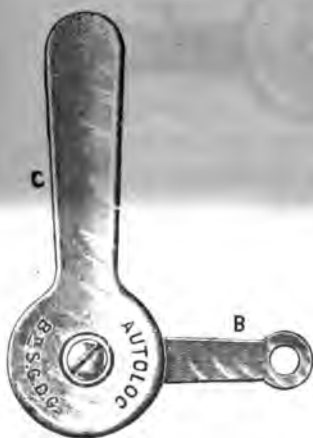


Fig. 6

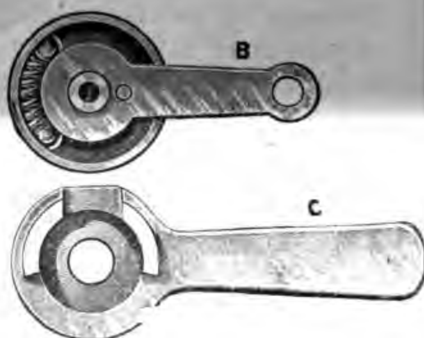


Fig. 7.

égal au levier B. On constate d'habitude dans l'appareil un petit jeu, dû à ce qu'il faut, pour opérer le déblocage, que la bille soit touchée par la saillie correspondante avant que l'autre saillie pousse le levier B.

La seconde bille suit le mouvement du noyau, sous l'influence du ressort de rappel bandé qui la relie à la pre-

mière bille, sans éprouver de résistance appréciable, parce que son point de contact avec le noyau fuit devant elle.

On peut à volonté remplacer dans l'appareil : le levier indépendant A par une roue dentée ou une poulie concentrique à la boîte et calée sur elle (*fig.* 6 et 7) ; le levier solidaire B par une roue dentée ou une poulie calée sur l'axe du noyau central ; la manette de manœuvre C par une roue dentée ou une poulie calée sur le couvercle.

On conçoit sans difficulté qu'il soit possible, en agissant sur la manette, non seulement de modifier l'angle mutuel des leviers A et B, mais de faire tourner indéfiniment ce dernier autour de son axe, en se servant de la manette comme d'une manivelle de treuil.

L'autoloc nous paraît susceptible de rendre des services en facilitant et rendant extrêmement précises toutes les manœuvres à la main qui peuvent se traduire par le déplacement angulaire d'un levier par rapport à un autre : freins de toute nature, ouverture d'un robinet de conduite de vapeur d'eau ou d'air comprimé, entrebâillement d'une porte ou d'une baie d'aérage, réglage d'un chevalet de support, etc... Le fait que le blocage, réalisé exactement pour la position jugée convenable par le mécanicien, est absolu et se maintient jusqu'à la rupture de l'appareil lui-même, semble offrir un grand intérêt au point de vue des applications.

L'emploi de l'autoloc a déjà été réalisé ou étudié pour les bicyclettes, les automobiles, les tramways, les lunettes astronomiques et un grand nombre d'instruments et engins de petite mécanique industrielle.

Nous croyons qu'il pourra rendre des services dans l'exploitation des chemins de fer, et nous proposons, pour ce motif, d'appeler l'attention des Compagnies de chemins de fer sur les avantages qu'elles pourraient retirer de son emploi.

BULLETIN
DES ACCIDENTS D'APPAREILS A VAPEUR
SURVENUS PENDANT L'ANNÉE 1905

(Résumé résultant de l'étude des dossiers administratifs.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
1er janv.	Usine d'électricité à Paris.	Chaudière à tubes d'eau, du système De Naeyer, comprenant 144 tubes vaporisateurs. Surface de chauffe, 245 mètres carrés. Capacité, 9m³,687. Timbre, 8 kg.	Explosion d'un tube vaporisateur à 7 kg. de pression. Le tube s'est ouvert sur 51 centimètres de long, avec bâillement maximum de 145 millimètres, hors soudure (Pl. XXII, *fig.* 1 à 8). Les portes de foyer n'étaient pas à fermeture automatique; en outre, la porte de façade s'est ouverte (Pl. XXII, *fig.* 9). Le chauffeur a été frappé par le flux brûlant.	Chauffeur tué.	Surchauffes plus ou moins répétées d'un tube vaporisateur, notamment à raison d'une insuffisance des mesures prises contre les dépôts : peut-être un commencement d'avarie y avait-il été produit par un redressement au vérin.
1er janv.	Distillerie agricole, à Genlis (Côte-d'Or).	Chaudière horizontale, semi-tubulaire et à bouilleurs, avec tubes Berendorf. Surface de chauffe, 100 mètres carrés. Capacité, 9.900 litres. Timbre, 6kg,5. Les plaques tubulaires, de	Rupture des deux tirants de la rangée supérieure, déformation des plaques tubulaires qui se sont écartées l'une de l'autre : d'où déboîtement d'un certain nombre de tubes (Pl. XXII,	Chauffeur tué ; deux ouvriers blessés grièvement.	Entretoisement trop faible des plaques tubulaires, excès des tensions auxquelles étaient soumis les tirants, et peut-être défaut de qua-

		[illegible] son pourtour à un cadre en fer plat de 60 millimètres sur 20 millimètres. Ce couvercle était assujetti sur le bord de la cuve par dix boulons à charnière (de 24 millimètres de diamètre au fond des filets, avec pas de 3 millimètres) avec écrous à oreilles reposant à plat, sans encoche, sur les armatures du couvercle. Timbre, 3 kg. (Pl. XXII, *fig.* 17 à 22).			[illegible] positifs de nature à empêcher le déversement des boulons par glissement des écrous sur les pattes du couvercle.
26 janv.	Bateau à vapeur, à Roche-Maurice (Loire-Inférieure).	Chaudière à tubes d'eau, du système Oriolle. Surface de chauffe, 124 mètres carrés. Capacité, 2m³,600. Timbre, 8 kg.	Rupture d'un tube vaporisateur, qui s'est ouvert en boutonnière le long de la génératrice inférieure, sur 14 centimètres de longueur, avec bâillement égal au diamètre du tube et flèche de 30 millimètres vers le haut sur 50 centimètres de longueur. Le registre était en partie fermé, la fermeture des portes latérales du fourneau céda et la chaufferie fut envahie par le flux brûlant. Le tube présentait une inégalité d'épaisseur dans la région où il s'est ouvert.	Mécanicien grièvement brûlé. (La rupture aurait été inoffensive si des dispositions plus efficaces avaient été prises pour qu'une issue facile fût, en toutes circonstances, offerte, dans la direction de la cheminée, à la vapeur se répandant dans le fourneau et pour que cette vapeur ne pût s'ouvrir un chemin vers la chaufferie.)	Cause non précisée.
10 fév.	Chemin de fer, entre les stations de Hyds et de Lapeyrouse (réseau d'Orléans).	Chaudière locomotive.	Déchirure du ciel du foyer, transversalement sur toute sa largeur (1m,87), avec bâillement de 67 centimètres.	Néant.	Abaissement excessif du plan d'eau.
2 mars.	Chemin de fer, à Savigny-sur-Orge (réseau d'Orléans).	Chaudière locomotive. Surface de chauffe, 143 mètres carrés. Timbre, 10 kg.	La virole d'arrière du corps cylindrique s'est ouverte suivant sa ligne de rivure longitudinale du côté gauche et s'est déroulée en grand vers la droite.	Trois ouvriers grièvement brûlés.	Fissuration le long d'une rivure du corps cylindrique à l'intérieur de celui-ci, dans l'angle rentrant formé par le recouvrement des

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
					deux rives de la tôle, et affectant le métal à partir de la face baignée par l'eau (Pl. XXII, *fig.* 23).
18 avril.	Battage des grains, à Fesques (Seine-Inférieure).	Chaudière verticale à foyer intérieur et à bouilleurs croisés. Capacité, 425 litres. Surface de chauffe, 3m²,33. Timbre, 6kg,5 (Pl. XXII, *fig.* 24 à 26).	Déchirure de la tôle d'enveloppe à la partie inférieure du corps cylindrique sur 50 centimètres de longueur et 20 centimètres de hauteur. L'épaisseur primitive de 7 millimètres était réduite à 1 millimètre en certains points.	Dégâts matériels peu importants.	Amincissement excessif de la partie basse du corps cylindrique, par corrosion intérieure. Cette détérioration s'explique aisément à raison de l'âge de l'appareil, de ses chômages et de la nature de l'eau d'alimentation.
20 avril.	Chemin de fer industriel, à Albi (Tarn).	Chaudière locomotive timbrée à 12 kg., dans laquelle, à la suite de la suppression de six tubes à fumée, les orifices correspondants de la plaque tubulaire de boîte à fumée avaient été bouchés par de faux tubes.	Départ en grand d'un faux tube.	Mécanicien grièvement brûlé.	Imprudence de la victime qui frappait au marteau, en pleine pression, sur l'emmanchement d'un faux tube pour étancher une fuite, et insuffisance de tenue du faux tube emmanché par simple dudgeonnage.
28 avril.	Paquebot à vapeur, en cours de voyage d'Extrême-Orient (rade de Woosung).	Chaudière Belleville à six éléments. Surface de chauffe, 107m². Timbre, 16 kg.	Le deuxième tube vaporisateur, à partir du bas, de l'un des éléments du milieu s'est détaché de sa boîte de connexion arrière : le filetage du tube avait presque disparu et le tube était corrodé, tant à l'intérieur que sur le filetage (Pl. XXII, *fig.* 27 à 30).	Deux chauffeurs brûlés grièvement, deux légèrement.	Déboîtement d'un tube consécutif à la corrosion du filetage d'un emmanchement.
29 avril.	Chemin de fer, en gare de Villeneuve-Triage (réseau Paris-Lyon-Méditerranée).	Chaudière tubulaire en ⊢.	Un tube à fumée en laiton s'est rompu à 5 centimètres de la plaque tubulaire du foyer.	Un ouvrier grièvement blessé.	Amincissement par suite d'usure.

		teur.	double jet d'eau et de vapeur se répandit dans la chaufferie.		
6 juin.	Fabrique d'encre et produits chimiques, à Dijon (Côte-d'Or).	Chaudière à double fond dite « bassine à bain-marie », formée d'une bassine intérieure en cuivre de 85 centimètres de diamètre et 60 centimètres de hauteur, et d'une enveloppe extérieure en tôle d'acier. Capacité, 63 litres (Pl. XXIII, *fig.* 1 et 2).	Au cours d'un essai, le fond de la bassine en cuivre (constitué par une feuille de 5 millimètres d'épaisseur légèrement bombée) céda (Pl. XXIII, *fig.* 3 et 4). La soupape primitive avait été remplacée par une soupape de construction américaine dont les chiffres indicateurs donnèrent lieu à une méprise (la pression atteignait 4kg,200 alors que l'on croyait qu'elle n'était que de 600 grammes par centimètre carré).	Un ouvrier blessé grièvement ; une personne légèrement brûlée.	Excès de pression résultant d'une grave erreur commise sur la charge de la soupape de sûreté et du défaut de manomètre.
12 juillet.	Battage des grains. au Paradou (Bouches-du-Rhône).	Chaudière locomobile en ⊢. Surface de chauffe 18^{m2}. Capacité, 1.850 litres. Timbre, 7 kg. Appareil d'âge inconnu et réparé d'une manière insuffisante.	Arrachement de la rivure circulaire de jonction entre le corps cylindrique et la plaque tubulaire, avec fragmentation et projection partielle de celle-ci. La locomobile a été projetée à 70 mètres de distance. La tranche de la rupture accusait des cassures préexistantes.	Trois ouvriers tués; onze grièvement blessés.	Mauvais état de la chaudière et insuffisance des réparations qu'elle avait subies.
20 juillet.	Fabrique de produits chimiques à Lyon (Rhône).	Récipient constitué par une virole cylindrique verticale de 60 centimètres de diamètre et 2m,20 de hauteur, en tôle de cuivre de 3 millimètres, fermée aux deux extrémités par des fonds plats en fonte de 12 à 14 millimètres d'épaisseur, avec nervures. Ces fonds, articulés sur charnières, étaient assujettis en place chacun par huit boulons à bascule. Timbre, 1kg,5. L'appareil, d'âge et de constructeur inconnus, fonctionnait précédemment à l'air libre.	Rupture du fond inférieur plat en fonte présentant de nombreuses et importantes soufflures non visibles extérieurement.	Un ouvrier tué. Dégâts matériels importants.	Cause non précisée.
28 juillet.	Usine métallurgique, à Tarnos (Landes).	Chaudière composée d'un corps cylindrique de 1m,33 de diam. et 17 mètres de longueur et d'un bouilleur inférieur de 1m,23 de diam. et 14 mètres de longueur. Chauffée au gaz de haut fourneau. Le corps cylindrique était	La deuxième virole du corps cylindrique s'est ouverte en plein métal, suivant une génératrice du côté gauche, et s'est développée entièrement avec rupture des rivures circulaires qui l'assemblaient avec la	Trois ouvriers légèrement blessés. Dégâts matériels assez importants.	Surchauffe du corps cylindrique, vraisemblablement, mais non certainement, due à un abaissement du plan d'eau.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		chauffé en premier parcours et le bouilleur en deuxième (Pl. XXIII, *fig.* 5 et 6).	première et avec la troisième virole. La disposition des carneaux (par suite de laquelle il suffisait que l'eau s'abaissât d'une petite quantité au-dessous du minimum normal pour découvrir la partie de la surface de chauffe la plus vivement chauffée) exposait particulièrement la chaudière à l'accident de coup de feu.		
24 août.	Battage des grains, à Péret (Morbihan).	Chaudière horizontale tubulaire à retour de flammes, formée d'un corps cylindrique horizontal de 67 centimètres de diamètre et 1m,45 de longueur, que traversait de part en part un foyer légèrement tronconique, de 31 centimètres de diamètre à un bout et 28 à l'autre. Au-dessus du foyer étaient disposés sept tubes à fumée en cuivre de 72 millimètres de diamètre. Capacité, 398 litres. Surface de chauffe, 4m2,28. Timbre, 6 kg. (Pl. XXIII, *fig.* 7 à 10).	Fragmentation du corps cylindrique, notamment à la partie inférieure où ce corps était percé d'un trou d'autoclave pour l'enlèvement des dépôts.	Deux tués; trois personnes blessées grièvement, huit blessées légèrement.	Mauvais état de l'appareil, dont les tôles étaient fatiguées et corrodées, et vraisemblablement excès de pression.
29 août.	Scierie de bois, à Dijon (Côte-d'Or).	Bouilleur réchauffeur adjoint à une chaudière locomobile (Pl. XXIII, *fig.* 11 et 12). La chaudière avait 20 mètres carrés de surface de chauffe, 0m3,698 de capacité et un timbre de 6 kg. Le système réchauffeur comprenait deux bouilleurs offrant chacun 2m2,80 de surface de chauffe et 200 litres de capacité. L'eau d'alimentation était envoyée d'abord dans le bouilleur de gauche, puis dans [illegible]	Vaste déchirure du bouilleur de droite à peu près suivant sa génératrice inférieure et sur toute sa longueur (Pl. XXIII, *fig.* 13 à 15).	Pas d'accident de personnes. Dégâts matériels peu importants.	Surchauffe qui s'explique à raison des dispositions vicieuses de l'appareil et de l'entartrement d'un tuyautage qui était déjà, par lui-même, absolument insuffisant.

		toisait une couronne de six tubes de 3 centimètres de diamètre. Chauffée par une rampe de six becs Bunsen à orifice de 1 millimètre, coiffés de chapeaux en tôle métallique pour étaler la flamme qui, après avoir léché le fond inférieur, s'échappait par les tubes vers une cheminée. Les fonds étaient fixés à l'enveloppe cylindrique par rabattement de leurs bords (sur 15 millimètres de haut) et repliage des extrémités de l'enveloppe, de manière à former un agrafage, que l'on avait consolidé par un sertissage et rendu étanche par une coulée de soudure forte. Chaudière ni éprouvée ni déclarée. L'appareil n'était muni que d'une seule soupape de sûreté qui, en raison de ses petites dimensions et de la faible compressibilité du ressort qui la chargeait, était incapable de s'opposer à une élévation de pression.			
16 sept.	Chemin de fer, entre Saintes et Chaniers (Réseau de l'État).	Chaudière locomotive. Timbre, 15 kg.	Déchirure de l'enveloppe du foyer en tôle d'acier de 11 millimètres d'épaisseur, suivant une fissure verticale, sur 26 centimètres de long, avec bâillement de 1 millimètre, au congé d'emboutissage gauche arrière au-dessus du bouchon de lavage.	Mécanicien tué; chauffeur grièvement brûlé.	Fissuration, le long de l'embouti, dans l'angle gauche arrière de l'enveloppe du foyer. Une détérioration analogue existait du côté droit, ce qui démontre que ces avaries se rattachent aux conditions générales de construction et de service de la locomotive.
19 sept.	Tannerie, à Romans (Drôme).	Chaudière (Pl. XXIII, *fig.* 16 et 17) formée d'un corps cylindrique horizontal de $1^m,45$ de diamètre et 8 mètres de long, terminé par deux fonds plats et traversé de bout en bout par un tube-foyer de 82 centimètres de diamètre et $10^{mm},5$ d'épaisseur. Un bouilleur réchauffeur était placé au-	Écrasement du tube-foyer intérieur qui s'est aplati latéralement et symétriquement sur toute sa longueur (Pl. XXIII, *fig.* 18 à 22).	Un ouvrier tué, un autre légèrement brûlé.	Insuffisance d'épaisseur du tube-foyer intérieur eu égard à ses dimensions et au mode d'assemblage de ses viroles successives.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		dessous. Surface de chauffe, 41m2. Capacité, 14m3. Timbre, 6 kg. Par suite du mode d'assemblage des viroles successives (qui étaient simplement rivées à plat les unes aux autres), le tube, sur 8 mètres de long, n'était renforcé par aucun anneau de raidissement. Ce long cylindre aurait eu besoin d'une rigidité d'autant plus grande que sa forme transversale ne devait pas être exactement circulaire, ne fût-ce que parce que la tôle de chaque virole était assemblée sur elle-même par une rivure à recouvrement. Dans ces conditions de construction, le tube était particulièrement exposé à subir, lors de l'épreuve hydraulique, un excès de fatigue pouvant ensuite facilement se transformer en un écrasement en grand.			
21 sept.	Minoterie, à Beaulieu, commune de Languédias (Côtes-du-Nord).	Chaudière horizontale, semi-tubulaire, a deux bouilleurs inférieurs. Surface de chauffe, 23m2. Capacité, 2m3,500.	Vaste déchirure affectant la virole de coup de feu du bouilleur de gauche, qui s'est ouverte après étirement sur 2 mètres de long avec bâillement maximum de 26 centimètres (Pl. XXIV, *fig.* 1 à 10).	Pas d'accident de personnes.	Cause non précisée. La tôle de coup de feu paraissait avoir souffert de plusieurs surchauffes successives au cours de la carrière, de durée inconnue, que le générateur avait fournie.
28 sept.	Usine d'électricité, à Saint-Amour (Jura).	Chaudière à tubes d'eau, système Niclausse. Surface de chauffe, 31m2. Capacité, 1m3,666. Timbre, 12 kg.	Rupture d'un tube vaporisateur (le troisième, à partir du bas, de l'élément extrême de droite) qui s'est ouvert en boutonnière sur 23 centimètres de long avec bâillement de 14 centimètres, dans sa moitié ar-	Une personne blessée grièvement, trois blessées légèrement.	Surchauffe qui paraît avoir été la conséquence d'un manque d'eau.

		[illegible] vible maintenu par des boulons à charnière. Le couvercle, bombé sous une flèche de 3 ou 4 centimètres, était constitué par une tôle de cuivre de 2 millimètres d'épaisseur rivée à son pourtour sur une couronne en fonte (Voir Pl. XXIV, *fig.* 13, le profil de cette couronne). Cette couronne était affaiblie par une rainure de 10 millimètres sur 20 millimètres, qui formait contre-partie d'une nervure portée par la collerette fixe du récipient et au fond de laquelle était logée une tresse de chanvre pour l'étanchéité de l'assemblage. La fraisure des trous des rivets au moyen desquels la tôle était fixée à la couronne pénétrait de 5 millimètres dans l'épaisseur de celle-ci et contribuait également à l'affaiblir. Cet appareil était presque identique à deux autres déjà décrits (Conf. accidents du 14 décembre 1893 à Grésy-sur-Isère (Savoie) et du 21 décembre 1898 à Fessy (Haute-Savoie)). Il était sorti en 1892 (c'est-à-dire antérieurement à ces deux accidents) des ateliers du même constructeur.	[illegible]		[illegible] section et de sa matière, se trouvait placée dans des conditions de résistance particulièrement défectueuses. (Peut-être en outre excès de pression.)
11 nov.	Papeterie, à Corbès (Gard).	Récipient lessiveur cylindrique horizontal. La paroi cylindrique, de 2 mètres de diamètre et 5m,50 de long, était constituée par trois viroles formées chacune de quatre tôles de 13mm,2 d'épaisseur; les fonds étaient emboutis sous un rayon de courbure un peu inférieur à 2 mètres. L'une des tôles de la virole milieu portait l'ouverture de chargement et de vidange; cette ouverture, de grande dimension (96 centimètres suivant les génératrices, 75 centimètres dans	Rupture (Pl. XXIV, *fig.* 14 et 15) par étoilement autour de l'ouverture de chargement (une demi-heure seulement après le début de l'opération) suivant quatre fissures principales issues des quatre angles de l'ouverture dans des directions générales peu inclinées sur les génératrices du cylindre.	Pas d'accident de personnes. Dégâts matériels assez considérables.	Cause non précisée. (L'enquête n'a pas constaté directement la préexistence de fissures dans le cadre en fonte de l'ouverture de chargement; mais sa substance, sa forme rectangulaire, sa grande dimension se prêtaient facilement à des avaries de ce genre qui avaient déjà nécessité la mise hors service d'un cadre semblable en 1904.)

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
		l'autre sens, était surmonté d'un ogive en fonte rivé sur la tôle et servant de point d'appui au tampon autoclave, [illegible] au moyen d'un [illegible]. Timbre, 3 kg. Le récipient était alimenté par une chaudière timbrée à 8 kg. avec interposition d'un détendeur simple.			
16 nov.	Distillerie [illegible], à Larnay (Haute-Savoie).	Récipient vertical (Pl. XXIV, *fig.* 16 et 17) cylindro-conique en cuivre rouge, de 1m,22 de hauteur, de 64 centimètres de diamètre au sommet et 61 centimètres à la base, fermé par un couvercle ainsi décomposé : d'une couronne périphérique en fonte sur laquelle est fixé un disque en cuivre embouti, 7 millimètres d'épaisseur. La couronne porte sur sa face inférieure une saillie circulaire de 45 millimètres de saillie et 12 millimètres de largeur, destinée à s'engager dans la rainure de la collerette dont est garnie la partie supérieure du récipient. Le couvercle est fixé au vase par cinq boulons articulés ; il est muni vers le centre d'une soupape à ressort dont la tension était arbitrairement réglée par les ouvriers. Capacité : 292 litres. Timbre, 1 kg. Le récipient [illegible] et une chaudière timbrée à [illegible]	Rupture (Pl. XXIV, *fig.* 18 à 24) de la couronne en fonte en quatre sections, — quelques instants après le serrage de l'un des écrous des boulons du couvercle effectué pour étancher une fuite légère.	Un homme tué.	1° Ensemble des dispositions de l'appareil, la couronne périphérique du couvercle se trouvant placée dans des conditions de résistance défectueuses à raison combinée de sa matière, de sa forme, de l'espacement de ses boulons d'attache, et le récipient, timbré pour une moindre pression que le générateur, n'étant pas protégé d'une manière efficace contre l'éventualité des excès de pression ; 2° Mauvais état de la couronne affectée de fissurations préexistantes ; 3° Probablement, comme cause déterminante, excès de pression.

		par deux boulons de 33 millimètres de diamètre. Capacité, 1.500 litres. Timbre, 6 kg. Le récipient recevait la vapeur d'un générateur timbré à 5 kg.			
27 nov.	Bateau à vapeur, dans le port de Marseille (Bouches-du-Rhône).	Chaudière type marine à deux foyers ondulés, en acier, avec tubes en laiton vissés dans la plaque avant, dudgeonnés dans la plaque arrière, de 74 millimètres de diamètre intérieur et de 3 millimètres d'épaisseur. Surface de chauffe, 85^{m2} ; capacité, $16^{m3},5$. Alimentation par un petit cheval (Pl. XXIV, *fig.* 29 à 32).	Rupture de 11 tubes situés dans diverses régions des deux faisceaux, qui se sont sectionnés nettement au ras de la partie filetée, et aplatissement plus ou moins accentué de 72 autres tubes situés surtout dans la partie supérieure du faisceau bâbord.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Manque d'eau.
1er déc.	Chemin de fer, à Saint-Nazaire (réseau d'Orléans).	Chaudière Field.	Rupture du fond d'un tube.	Un ouvrier grièvement brûlé.	Défaut de soudure.
7 déc.	Fabrique de réglisse, à Moussac (Gard).	Récipient (Pl. XXIV, *fig.* 33 et 34) cylindrique vertical en tôle de cuivre de $1^m,40$ de diamètre et $2^m,25$ de hauteur, fermé à la partie supérieure par un fond rivé avec ouverture de chargement, et à la partie inférieure par un fond amovible à charnière maintenu en place par une couronne de 24 boulons à bascule de 25 millimètres de diamètre au fond des filets, distants l'un de l'autre de 20 centimètres. Ce fond était constitué par une tôle de cuivre de 8 millimètres en forme de calotte sphérique de 18 centimètres de flèche, armaturée sur son pourtour au moyen d'une couronne en fer plat de 15 millimètres d'épaisseur. Timbré à 2 kg. Alimenté par la vapeur produite par des chaudières timbrées à 7 kg. sans interposition de détendeur. Le centre du fond supérieur du récipient portait une soupape.	Séparation du fond inférieur et projection du corps du récipient; les boulons à bascule avaient tous résisté.	Trois ouvriers légèrement blessés. Dégâts matériels importants.	Projection du fond amovible, de constitution peu rigide, du récipient momentanément abandonné sans surveillance pendant la période d'admission de vapeur. Aucune disposition matérielle ne s'opposait au glissement des écrous des boulons à bascule et au renversement de ces boulons, et l'emplacement relatif de l'arrivée de vapeur et de la soupape de sûreté n'assurait pas d'une manière certaine, eu égard à la nature visqueuse des matières élaborées, la limitation convenable de la pression dans toutes les parties du récipient.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

DÉSIGNATION	NOMBRE	TUÉS	BLESSÉS (*)
I. — Par nature d'établissements.			
Métallurgie	1	»	»
Agriculture — Battage des grains	3	5	14
Agriculture — Distillerie	3	3	2
Agriculture — Laiterie	1	1	3
Agriculture — Fromagerie	1	1	1
Industries alimentaires — Minoterie	1	»	»
Industries alimentaires — Fabrique de réglisse	1	»	»
Industries chimiques — Fabrique de produits chimiques	2	1	1
Industries chimiques — Tannerie	1	1	»
Industries diverses — Filature de ramie	1	»	»
Industries diverses — Scierie de bois	1	»	»
Industries diverses — Papeterie	1	»	»
Assistance publique	1	»	»
Production d'énergie électrique	2	1	1
Chemins de fer — d'intérêt général	5	1	6
Chemins de fer — industriel	1	»	1
Bateaux à vapeur	3	»	4
TOTAUX	29	14	33
II. — Par espèce d'appareils.			
1° *Chaudières non tubulaires :*			
A foyer extérieur, horizontale	1	»	»
A foyer intérieur, horizontale	1	1	»
A foyer extérieur, verticale	1	»	1
A foyer intérieur, verticale	1	»	»
2° *Chaudières à tubes de fumée :*			
A foyer extérieur, semi-tubulaires	3	1	2
A foyer intérieur — à flamme directe	6	4	17
A foyer intérieur — à retour de flamme	2	2	4
3° *Chaudières à tubes d'eau :*			
Ayant leur surface de chauffe entièrement tubulaire	5	2	7
Ayant une partie de leur surface de chauffe non tubulaire, à foyer intérieur (Field)	1	»	1
4° *Réchauffeur*	1	»	»
5° *Récipients*	7	4	1
TOTAUX	29	14	33

(*) Ayant eu plus de vingt jours d'incapacité de travail. Pour les blessures moins graves, voir le bulletin détaillé, qui mentionne tous les blessés signalés par l'enquête administrative.

III — D'après les causes présumées résultant de l'étude des dossiers administratifs.

Conditions défectueuses d'établissement :		
Défauts d'épaisseur ou de raidissement	5	
Dispositions défectueuses d'assemblages	3	
Défaut de soudure au bas d'un tube Field	1	11
Insuffisance de communication entre réchauffeur et chaudière	1	
Récipient mal protégé contre les excès de pression	1	
2° *Conditions défectueuses d'entretien :*		
Corrosions { de corps cylindriques	2	
Corrosions { d'un emmanchement vissé	1	
Usure de tube à fumée	1	8
Fissurations diverses	3	
Réparation défectueuse d'une fermeture non autoclave	1	
3° *Mauvais emploi des appareils :*		
Surchauffe { par suite d'abaissement du plan d'eau	4	
Surchauffe { par l'effet des dépôts	2	
Excès de pression	5	13
Martelage d'une fuite sur un appareil en pression	1	
Serrage excessif de boulons	1	
4° *Causes non précisées*		5
Total		37

Nota. — On trouve 37 causes pour 29 accidents, parce que l'accident a été porté comme dû :

a) à 2 causes dans 5 cas :

Disposition défectueuse d'assemblage et serrage excessif de boulons (4 janvier);

Disposition défectueuse d'assemblage et martelage d'une fuite sur un appareil en pression (20 avril);

Corrosion de corps cylindrique et excès de pression (24 août);

Insuffisance de communication entre réchauffeur et chaudière et surchauffe par l'effet des dépôts (29 août);

Défaut d'épaisseur ou de raidissement et excès de pression (7 décembre).

b) à 4 causes dans 1 cas :

Défaut de raidissement d'un couvercle de récipient, défaut de protection de celui-ci contre les excès de pression, fissurations à la couronne du couvercle et excès de pression (16 novembre).

Accidents de tuyauterie. — Les accidents de tuyauterie ne rentrent pas dans le cadre habituel des tableaux d'accidents d'appareils à vapeur. Deux graves accidents de ce genre se sont produits en 1905. Ils n'ont pas été compris dans le relevé qui précède. On trouvera dans le tableau ci-après le résumé de leurs circonstances.

ACCIDENTS DE TUYAUTERIE.

DATE de l'accident	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé	NATURE forme et destination de l'appareil — Détails divers	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident
1er mars.	Bateau à vapeur, en pleine mer (traversée de Buenos-Ayres au Havre).	Quatre chaudières cylindriques à retour de flamme. Timbre, 12 kg. De chacune des chaudières part une conduite de vapeur aboutissant à une tubulure de jonction d'où un collecteur principal unique conduit la vapeur à la machine.	Rupture d'une conduite de vapeur, en cuivre électrolytique, de 110 millimètres de diamètre et 5 millimètres d'épaisseur, canalisant de la vapeur à 12 kg. La rupture s'est produite sur 30 centimètres de longueur avec bâillement de 10 centimètres. Une réparation de fortune, effectuée pour remédier à un défaut d'étanchéité, n'avait pu qu'aggraver la situation.	Un homme tué; un grièvement blessé.	Fatigue consécutive à des efforts de flexion accentués par suite des dispositions générales du tuyautage.
18 sept.	Usine de production d'air comprimé, à Paris.	Vingt chaudières Babcock et Wilcox réparties en cinq batteries surmontées chacune d'un collecteur de vapeur; les deux collecteurs d'un groupe de deux batteries sont réunis par des collecteurs transversaux formant ainsi un rectangle dont les dilatations sont entièrement libres. Timbre, 12 kg. Produit caractéristique de chaque générateur : 1237. Chacune des prises de vapeur était munie d'un clapet automatique d'arrêt de vapeur, dont la boîte était traversée de bas en haut par la vapeur, et chaque collecteur transversal d'un clapet automatique à contrepoids battant dans les deux sens.	Rupture et dislocation de la tuyauterie.	Cinq hommes tués; un blessé grièvement; deux blessés légèrement. (L'extrême gravité des conséquences doit être attribuée au non-fonctionnement des clapets automatiques d'arrêt de vapeur.)	Coup d'eau dans la tuyauterie.

NOTE

SUR LES CONDITIONS ÉCONOMIQUES

DE

L'EXPLOITATION DU SOUFRE

EN SICILE ET EN LOUISIANE

Par M. L. AGUILLON, Inspecteur général des Mines.

Nous avons à deux reprises, dans ces dernières années, attiré ici même (*) l'attention sur les conditions économiques, qui ont toujours été très particulières, de l'exploitation du soufre en Sicile. Tout récemment se sont produits des faits nouveaux du plus haut intérêt qui méritent d'être retenus. Pour en faire saisir la portée et les conséquences éventuelles, nous sommes obligé de revenir sur quelques indications générales que nous avons déjà données, regrettant d'être entraîné ainsi à des redites pour lesquelles nous nous excusons.

I.

L'industrie du soufre en Sicile (**), dont la production jusque dans ces derniers temps correspondait à 90 p. 100 de la production mondiale de cette substance, avait eu une période de développement continu de 1860 à 1883 ; depuis,

(*) 3e série, t. VI, p. 585, et t. XIII, p. 317.

(**) Nous avons utilisé pour la présente note, outre la *Rivista del servizio minerario*, les documents parlementaires relatifs à la loi du 15 juillet 1906 et le rapport officiel de M. l'Ingénieur en chef Baldacci que nous mentionnerons plus en détail ultérieurement.

elle a subi de fréquentes et importantes oscillations. La production sicilienne, qui était de 151.000 tonnes en 1860, s'éleva graduellement à 446.000 en 1883 ; elle s'abaissa progressivement jusqu'à 370.000 en 1890, pour remonter à 395.000 en 1891 (*). Le prix (**) s'était maintenu au-dessus de 100 *lire* par tonne de 1860 à 1882, pour redescendre ensuite rapidement jusqu'à 66^{l},36 en 1889. Une reprise eut lieu en 1890 et 1891, où le prix atteignit le chiffre, qui ne s'était pas rencontré depuis plusieurs années, de 112^{l},57 ; mais, suivant ensuite une baisse désastreuse, les prix tombèrent à 95^{l},17 en 1893, 63^{l},59 en 1894 et 55^{l},69 en 1895. A ce taux, l'extraction n'était plus rémunératrice pour la majeure partie des mines. On a invoqué comme causes principales de cette crise : l'excès de la production par rapport à la demande des consommateurs; les offres désordonnées et inopportunes sur le marché par suite de cet excès de production ; le manque de ressources des producteurs ; la spéculation à la baisse par des commerçants et expéditionnaires peu scrupuleux.

Tous ces inconvénients étaient la conséquence des conditions fâcheuses inhérentes à la production et au commerce des soufres en Sicile.

En dehors des *Latifundia*, la terre y est très morcelée, et le droit d'exploiter le soufre, on le sait, n'est pas séparé de la propriété du sol. Cette substance, avec nos idées et dans notre terminologie, rentre en Sicile dans les carrières. Généralement le propriétaire ne fait pas de recherches et n'exploite pas la mine qui peut se trouver dans son terrain ou peut y être découverte (***). Il préfère

(*) Ces chiffres, que nous empruntons à l'exposé des motifs de la loi du 15 juillet 1906, ne concordent pas avec ceux du rapport de la Commission de la Chambre des députés.

(**) Les prix par nous cités s'entendent du soufre brut (*Zolfo grezzo*) prêt à être embarqué.

(***) On estime que, sur les 800 mines actuelles, 50 seulement sont exploitées par des propriétaires et 750 par des amodiataires.

s'en remettre à des entrepreneurs à *gabella* ou amodiataires. L'entrepreneur assume tous les risques. S'il trouve un gîte exploitable, il fait toutes les dépenses d'installation et d'exploitation et paie au propriétaire l'*estaglio* ou rente en soufre sur le produit brut, qui va de 15 à 30 p. 100 et parfois au delà ; il assume toutes les responsabilités, supporte toutes les taxes, sauf la taxe foncière, qui est répartie comme le produit brut(*).

Les exploitations sont généralement fort peu étendues et ne peuvent être, par leur exiguïté, rationnellement exploitées. Leur nombre va toujours en augmentant. De 480 en 1890, elles ont passé à 800 environ en 1904.

Les 777 exploitations en activité en 1905 se répartissent ainsi :

				Tonnes.
9	produisant	plus de 10.000 tonnes	ont donné au total	169.447
28	—	de 9 à 3.000	—	142.551
63	—	de 3 à 1.000	—	99.201
679	—	moins de 1.000	—	124.583

ce qui fait, pour cette dernière catégorie, une moyenne d'un peu moins de 200 tonnes par exploitation.

Les entrepreneurs des petites et même des moyennes exploitations, dénués de toutes ressources, n'ont de crédit et de possibilité de se procurer les fonds qui leur sont nécessaires que par les magasiniers (*Sborsanti magazzinieri*), chez lesquels ils mettent leur soufre en dépôt. L'exploitant s'engage à livrer toute sa production au magasinier sous déduction de 1 p. 100 en quantité pour la garde, et à lui rembourser les avances en argent qu'il a

(*) Suivant une statistique de 1890, le prix moyen de vente étant de 77f,419 par tonne, le prix de revient au port d'embarquement de 56f,378 et le bénéfice de 21f,041, on estimait que la part du propriétaire ressortait à 13f,790 (65,67 p. 100), et celle de l'amodiataire à 7f,251 (34,33 p. 100).

reçues sur garantie du soufre déposé, en payant des intérêts qui souvent dépassent 10 p. 100.

L'exploitant remet au magasinier une traite garantie que ce dernier escompte immédiatement à la Banque de Sicile ou à la Banque d'Italie, en sorte qu'il n'a qu'à donner sa signature. Le magasinier n'est d'ailleurs qu'un intermédiaire. La vente pour exportation, qui est la seule existante, s'effectue par quelques puissantes maisons à ce plus spécialement occupées. L'échéance pour le remboursement des avances aux magasiniers correspond généralement à l'époque où les soufres affluent dans les ports et où les prix sont les moindres ; la liquidation est ordinairement faite à ce prix et le magasinier verse le solde de l'opération. Le producteur est d'ailleurs exploité par le magasinier, qui, au soufre qu'on lui remet, mêle du sable ou d'autres matières étrangères pour en diminuer la qualité, bénéficiant ainsi, au regard de l'exploitant, de l'*aumento di magazzino*, suivant le terme consacré ; le magasinier a enfin le monopole du transport du magasin au bateau, et il le fait payer un prix excessif. Bref, on estime que les avances et le dépôt coûtent à l'exploitant 30 p. 100 de la valeur du soufre. On ne conteste pas que ce soit un véritable régime d'usure, et on conçoit sans peine, sous un tel régime, à quelles incertitudes et à quelles misères peuvent être réduits les entrepreneurs et par suite leurs ouvriers dans les périodes de prix démesurément réduits ; et il n'y a pas moins de 40.000 ouvriers occupés dans ces exploitations.

Pour essayer de remédier à cette situation, que les bas prix de 1895 avaient rendue lamentable, le Gouvernement avait bien supprimé le droit de sortie de 11 *lire* par tonne et accordé une prime par tonne exportée. Ces mesures eussent été insuffisantes sans la constitution, en 1896, au plus fort de la crise, de la Société anglaise *The Anglo-Sicilian Sulphur C°*, au capital de 1.035.000 £, dont

35.000 en actions ordinaires et le reste, dont 750.000 £ furent versées, en actions privilégiées.

L'*Anglo-Sicilian Sulphur C°* passa avec le Gouvernement une convention, en date du 27 juillet 1896, approuvée par la loi du 21 juillet 1897, en vertu de laquelle toutes les taxes, directes et indirectes, de l'État ou des communes, sur la production et le commerce du soufre en Sicile, étaient converties par abonnement en une taxe spéciale de 1 *lira* par tonne exportée, sauf maintien de l'*imposta* et de la *sovraimposta* sur les soufrières et de la taxe d'enregistrement sur leurs transferts comme sur la cession temporaire du droit d'exploiter.

L'*Anglo-Sicilian Sulphur C°* devait acheter tout le soufre produit en Sicile à des prix fixés, qui ont été de 76 à 82 *lira* suivant qualité, payables dans le mois de la consignation.

L'opposition violente faite par ceux contre qui avait été inspirée cette combinaison ne permit à la Société de réunir que l'adhésion de 60 p. 100 de la production totale. Elle suffit pour assurer le succès, qui fut immédiat. Le prix de vente, qui était déjà de 69l,62 en 1896, monta à 90l,39 en 1897 et s'est tenu depuis entre 95 et 96 *lire*. Tout le monde a trouvé son compte dans cette combinaison. Les non-syndiqués ont eu une assurance contre une baisse au-dessous des prix de la Société. Les syndiqués ont été débarrassés des agissements des magasiniers en bénéficiant d'un prix de vente stable et raisonnable. Les syndiqués se sont plaints toutefois de ne bénéficier que d'un prix de 80 *lire*, alors que les non-syndiqués ont pu profiter du taux normal de 95 *lire*. La Société, de son côté, a fait une très bonne affaire. Réalisant environ 15 *lire* de bénéfice par tonne, elle a pu donner à ses actions ordinaires un dividende de 50 p. 100. Elle avait à son actif au 31 juillet 1905 : un stock valant 24.109.472 *lire* au prix d'acquisition et 20.632.700 *lire* à un prix d'estimation don-

nant garantie contre les pertes (*), et un fonds de garantie de 7.355.617 *lire*.

La Société, toutefois, n'a pas cru devoir continuer ses opérations et elle s'est liquidée au 31 juillet 1906, date de la fin de son renouvellement quinquennal avec les syndiqués. La situation paraissait, en effet, être devenue passablement critique. La production n'avait cessé de croître: de 353.000 tonnes en 1895, elle avait passé à 496.000 en 1904 et à 536.000 en 1905. Il y avait, en fin de 1905, un stock de 430 à 450.000 tonnes, dont 400.000 tonnes appartenaient à la Société anglaise. Ce stock correspondait sensiblement à la production d'une année (**). Enfin les soufres de Sicile venaient de rencontrer dans la Louisiane une nouvelle et redoutable concurrence, en même temps que le débouché, relativement si important, des soufres italiens vers l'Amérique du Nord se restreignait considérablement. En effet, alors que la production américaine, qui n'était jadis que de 1.500 tonnes, s'était déjà élevée à 6.976 tonnes en 1901 et à 7.562 en 1902, elle avait atteint 35.000 en 1903 et 194.319 en 1904; de 91 p. 100 de la production mondiale, la production de la Sicile tombait à 67 p. 100. D'autre part, l'exportation de Sicile en Amérique, qui avait toujours été en augmentant (142.553 tonnes en 1898; 165.813 en 1900; 176.845 en 1902), tombait en 1904 à 107.994 et à 70.000 en 1905. Telle était pour la Sicile la double et dure conséquence de l'exploitation du gite de la Louisiane par le procédé Frasch.

(*) En somme, la Société, en admettant la possibilité pour elle de réaliser son stock à cette valeur — et cela n'était rien moins que certain, on va le voir, par les conditions où il lui faudra réaliser son stock définitif — avait, avec ce stock et ses réserves, la représentation du capital versé.

(**) Pour énorme que soit un pareil stock, on ne doit pas perdre de vue que de tout temps il y a eu en Sicile des stocks considérables. De 1881 à 1896, le stock en fin d'année a varié de 60 p. 100 à 110 p. 100 de la production de l'année.

En présence de cette situation, le Gouvernement italien, convaincu, à la suite des demandes qui lui avaient été présentées par les représentants des intéressés, qu'il avait avec lui le plus grand nombre d'entre eux, n'hésita pas à intervenir par des mesures radicales, hardies et vigoureuses, qui ont fait l'objet d'une loi du 15 juillet 1906.

Ce sont, d'une part, ces conditions nouvelles de l'exploitation de la Louisiane et, d'autre part, cette loi que nous voudrions sommairement examiner.

II.

Le gîte de soufre (*) actuellement exploité par l'*Union Sulphur C°* est situé dans la grande plaine côtière de la Louisiane, paroisse de Calcassieu, à 18 kilomètres à l'Ouest de *Lake Charles*, le centre le plus important de la région, et à 369 kilomètres à l'Ouest de la Nouvelle-Orléans, par où se sont faites d'abord les expéditions (**). La mine n'est qu'à 25 kilomètres du fleuve Sabine, qui sépare le Texas de la Louisiane et est accessible aux grands navires ; un canal va être établi pour rejoindre le fleuve, améliorant encore les conditions de transport et d'expédition.

Le soufre se rencontre à la base du miocène dans des assises argileuses et sableuses, qui donnent aussi du gypse, des gaz naturels et du pétrole.

C'est en recherchant le pétrole que, dès 1868, on avait rencontré, à la profondeur de 133 mètres, une couche de soufre cristallisé pur, de 32 mètres de puis-

(*) Tous les renseignements que nous donnons sur le gîte de soufre de la Louisiane et sur son exploitation sont tirés du rapport de M. l'Ingénieur en chef L. Baldacci (*Il giacimento solfifero della Louisiana*, Rome, 1906), qui a été envoyé sur place par le Gouvernement italien pour étudier la question.

(**) Le transport de la mine à la Nouvelle-Orléans ne coûte que 5 fr. 50 la tonne.

sance. On ne s'était occupé tout d'abord que du pétrole. Ultérieurement on essaya vainement de foncer un puits par le procédé Kind et Chaudron pour arriver jusqu'au soufre. On ne put traverser les sables boulants et aquifères. Cependant de nouveaux sondages avaient reconnu, à 128 mètres de profondeur, une couche de calcaire imprégné de soufre, de 20 mètres de puissance, et, au-dessous, une couche de soufre presque pur (à la teneur de 80 à 90 p. 100), d'une épaisseur de 36 mètres. On avait ainsi constaté l'existence de 1.500.000 tonnes de soufre pur et de 10.000.000 de tonnes de minerai à 33 p. 100, représentant 3.000.000 de tonnes de soufre pur. A la suite de nouveaux sondages confirmatifs des premiers, l'*Union Sulphur C°* se constitua en 1895 pour exploiter ce gîte par le procédé Frasch.

Ce procédé, d'une ingéniosité et d'une audace rares, consiste à fondre le soufre sur place en injectant par un forage jusqu'au mur du gisement de l'eau sous pression à la température de 168° (7kg 1/2 de pression), et à faire remonter le soufre fondu en insufflant au fond de l'air comprimé à 28 atmosphères, de façon que la colonne de soufre ainsi aérée soit plus légère que la colonne d'eau chaude descendante.

L'eau est injectée dans une colonne extérieure ; le soufre fondu remonte par une colonne intérieure ; l'air comprimé descend par une colonne intermédiaire. Le soufre ainsi élevé coule à la surface dans de grands réservoirs formés par des planches en bois ; on l'enlève après refroidissement par un simple piochage pour l'expédier. Ce n'est que depuis 1903, après de coûteuses et nombreuses tentatives, que le procédé rendu définitivement pratique est industriellement appliqué. En même temps l'amas a été plus et mieux reconnu sur une étendue de 25 hectares : la masse est presque horizontale, avec une épaisseur de 60 à 100 mètres sous une profondeur

de 150 à 190 mètres de morts-terrains. L'amas paraît du reste continuer avec sa puissance dans tous les sens au delà de cette première zone (*).

Toutes les conditions se sont trouvées réunies pour permettre la réussite à *Sulphur mine* du procédé Frasch. Outre les conditions exceptionnelles du gisement : régularité, puissance, pureté, on dispose des pétroles bruts de Beaumont (Texas), distants de 79 kilomètres, qui ne coûtent rendus que 1 fr. 60 par baril de 146 kilogrammes, ou 11 francs la tonne, et peuvent évaporer 14 à 15 kilogrammes d'eau par kilogramme. La consommation de vapeur est, en effet, énorme dans ce procédé. On compte une batterie de 15 à 16 chaudières ou de 2.400 H. P. par puits. La consommation d'eau n'est pas moindre : elle vient à *Sulphur*, par un canal de 6 kilomètres, du fleuve Houston, affluent du Calcassieu.

On admet qu'on doit travailler simultanément trois forages, situés à 30 mètres de distance les uns des autres ; l'installation de chaque forage, percement et tubage, ne coûte que de 13 à 21.000 francs et peut être effectuée en un mois.

La production des forages est assez variable. Quelques-uns fonctionnent mal dès le début. Généralement ils ne sont utilisables que pendant un mois avec une production moyenne de 300 tonnes par jour (**), ce qui permettrait d'avoir le soufre sur la mine à 18 francs la tonne, tous amortissement et dépréciations compris, et de l'amener à un port d'Europe à 39 francs (***). M. l'Ingénieur en

(*) On a estimé les ressources actuellement reconnues du gîte à 40 millions de tonnes, alors que celles de la Sicile ne sont évaluées qu'à 54 millions.

(**) Des puits plus récents ont donné jusqu'à 37.000 tonnes avec une production de 4 à 500 tonnes par jour.

(***)

Prix à la mine	18f,00
Transport à New-Orléans	5f,50
Transport en Europe	15f,50
	39f,00

chef Baldacci pense que le prix de revient pourra descendre à 13 fr. 50, ce qui permettrait d'avoir le soufre rendu en Europe à 34 fr. 50, prix inférieur au prix de revient du soufre sur la mine en Sicile.

A la fin de 1905, 12 puits étaient en installation.

On se préoccupe dès maintenant, par une introduction méthodique de matériaux, de remblayer les vides des puits trop voisins des installations de surface, de façon à éviter les affaissements qui se sont déjà produits.

Le soufre obtenu par le procédé Frasch est remarquablement pur, à 99,5 p. 100 de S. Commercialement, la première qualité, qui est le produit normal et courant, se place entre les deux sortes siciliennes dites *raffinato* et *seconda vantaggiata* (voir la classification, *Annales des Mines*, 9e série, t. XIII, p. 318), plus voisine de la première que de la seconde. On fait des secondes sortes en mélangeant le soufre pur avec la quantité voulue de matières étrangères.

Si l'on songe que le prix de revient du soufre sicilien prêt à être embarqué est de 56 francs environ, on conçoit, avec des conditions si différentes entre la Sicile et la Louisiane, le danger qui menace l'industrie italienne. Avant de disparaître de Sicile, *The Anglo-Sicilian Sulphur C° limited* avait pu s'entendre avec la Compagnie de la Louisiane, et, comme je l'indiquais ci-dessus, les prix ont pu être maintenus en 1905 et même 1906, malgré l'énorme augmentation des stocks en Sicile. Mais il fallait aviser à la crise, terrible pour la Sicile, qui pouvait résulter, avec la disparition de la Société anglaise, des conditions habituelles du marché dont les inconvénients et les vices pouvaient être aggravés par cette concurrence américaine. Tel fut le but de la loi du 15 juillet 1906, que nous allons examiner.

III.

A la date du 1er août 1906, les propriétaires, possesseurs et exploitants (*) des mines de soufre présents et futurs de la Sicile sont constitués de droit en un Syndicat obligatoire pour la durée de douze ans (article 1 de la loi).

Le Syndicat, qui constitue une personne morale, une véritable entreprise financière, a seul qualité pour vendre le soufre (**), en sorte que nulle quantité de soufre ne peut, sous peine de sanctions, non seulement civiles, mais encore pénales, être transportée par chemin de fer ou exportée par mer sans un certificat ou laissez-passer du Syndicat.

La combinaison au point de vue commercial est analogue à celle des syndicats de producteurs avec comptoir unique de vente. Elle s'en distingue par ce fait, peut-être unique dans la législation du monde, que le syndicat est obligatoire ; toutefois, et sous réserve de ce que nous allons dire pour la réduction éventuelle de la production, cette forme rappelle celle pratiquée pour certaines industries dont la vente est monopolisée par l'État, bien que la production en soit libre.

Pour le soufre, dont la production est, en somme, réglée par la consommation, la loi a bien dû admettre explicitement (art. 4, § 2) la possibilité d'une réduction de la production. Elle ne fait que poser le principe en prévoyant,

---

(*) La loi traite également propriétaires et amodiataires à raison de la redevance en nature que ceux-ci paient à ceux-là ; est syndiqué tout individu qui, à un titre quelconque, peut détenir du soufre brut provenant de l'extraction.

(**) Le Syndicat ne s'occupe que du soufre brut (*Solfo grezzo*) ou non travaillé, tel que le produisent les mines avec leurs appareils de fusion. Restent en dehors toutes les industries qui mettent en œuvre le soufre moulu, raffiné, sublimé. Mais ces industries ne peuvent acheter leur soufre brut qu'au Syndicat.

d'autre part, la constitution par le Syndicat d'un fonds spécial pour secourir les ouvriers que cette réduction condamnerait au chômage. La loi renvoie aux statuts [*], non encore parus, la fixation des règles et des garanties pour l'application éventuelle de cette réduction. Cela ne laissera pas d'être compliqué par le fait que l'on a affaire à un syndicat indéfiniment ouvert. On se flatte en Italie que l'on pourra éviter de recourir à cette mesure et que le Syndicat pourra évacuer à des prix raisonnables toute la production qu'on lui livrera, bien qu'elle doive être accrue de l'énorme stock dont il se charge à ses débuts. De l'abaissement des prix qu'il lui faudrait consentir pour accroître ses débouchés en cas d'augmentation de production résulterait une réduction de bénéfices des exploitants qui pourra être, pense-t-on, un frein à l'augmentation de la production.

Sous réserve de cette limitation éventuelle de production, le Syndicat doit prendre charge de tout le soufre extrait, et qui peut être librement extrait par tous comme jadis; et il le vend pour le compte et dans l'intérêt commun de tous les associés (art. 2, § 2). La loi n'a pas indiqué les bases et le mode de la répartition entre eux du produit des ventes : c'est aux statuts du Syndicat qu'il appartiendra de donner la solution. Le décret royal du 22 juillet 1906, qui porte règlement pour la Commission administrative provisoire représentant et remplaçant le Syndicat jusqu'à sa constitution définitive, a, dans son article 4, fixé ce mode par un système de liquidation des ventes de chaque quinzaine, au profit des soufres, préalablement classés par qualités, qui ont été consignés dans ladite quinzaine, avec coefficient de répartition par intéressé suivant la quantité de chaque qualité et report au décompte de la quinzaine suivante des soufres de chaque

[*] Ces statuts doivent être approuvés par décret royal.

qualité qui ont été consignés en quantités plus grandes que celles vendues.

Outre ces mesures générales pour la marche normale de l'entreprise, il y avait deux particularités des plus graves et des plus pressantes à régler : la liquidation du stock énorme que nous avons dit exister en Sicile et l'exécution des contrats qui avaient pu être passés pour des livraisons futures.

Toute liberté de disposition a été laissée aux détenteurs de stocks de moins de 15.000 tonnes, sous réserve de les faire constater immédiatement et de ne les vendre que sur avis permettant le contrôle de l'opération (Loi, art. 4).

Les détenteurs de stocks de plus de 15.000 tonnes ont le choix, en optant immédiatement, ou de les consigner au Syndicat pour être traités comme des associés, ou de les vendre ferme à un prix que la loi a fixé, quelle que soit la qualité, à 59 *lire* la tonne. Les détenteurs seront payés par la remise au pair d'obligations de 500 *lire* rapportant 3,65 0/0, payables en deux fois, nettes de tout impôt présent et futur, et remboursables en douze ans par tirage au sort, à raison d'au moins un douzième par an. Les sommes provenant de la vente des stocks ainsi acquis sont versées en compte courant à la Banque de Sicile avec d'autres ressources que nous indiquerons ultérieurement pour servir de gage spécial au service des obligations. Ce service est d'ailleurs garanti par l'État tant pour le paiement des intérêts annuels que pour le remboursement.

Cette clause est une de celles qui n'ont pas été et ne pouvaient pas être le moins discutées au point de vue juridique ; on l'a expliquée, sinon justifiée, en disant que la Société *Anglo-Sicilian Sulphur C°*, pour laquelle elle a été plus spécialement imaginée, l'agréait. On conçoit, en effet, d'après ce que nous avons dit de la situation de cette Société, qu'elle devait accepter sans difficulté la pos-

sibilité de réaliser immédiatement, encore que le prix la laissât en perte d'une vingtaine de francs par tonne sur le prix d'acquisition, l'énorme stock de quelque 400.000 tonnes dont elle eût pu être singulièrement embarrassée dans les conjonctures du marché.

Afin d'échapper, d'autre part, aux conséquences de traités fictifs, tout en assurant l'exécution entre intéressés de ceux passés de bonne foi, l'article 6 a stipulé que, pour toute vente, cession, gage ou tous autres actes analogues ayant date certaine avant le 1er juillet 1906, et qui doivent être immédiatement signifiés au Syndicat, les acheteurs, créanciers, gagistes sont substitués à leurs portant droit dans leurs droits et obligations d'associés, sauf le droit de vote. L'acquéreur peut consigner le soufre au Syndicat en payant en même temps à son vendeur le prix convenu entre eux. Les différences sont imputées par le Syndicat au vendeur.

Le Syndicat est représenté et géré par un « Comité de délégués », un « Conseil d'administration » et un « Directeur général ». Le « Comité de délégués », de 50 membres, remplace l'assemblée générale, parce qu'on a trouvé impraticable de réunir une assemblée qui aurait compté environ 1.500 membres (*). Le Conseil d'administration est de 9 membres. Le Directeur général est nommé par le Roi.

Des 50 membres du « Comité de délégués », 44 sont élus par les syndiqués, dont 22 au vote par tête et 22 au vote par intérêt (**). Les 6 autres membres sont désignés :

(*) On ne doit pas oublier que les syndiqués comprennent non seulement les exploitants, mais aussi les propriétaires qui touchent des redevances en nature.

(**) L'intérêt se calcule la première année à raison de 1 voix par 10 ouvriers pour l'exploitant et de 1/5 pour le propriétaire; les années suivantes, l'intérêt se compte à raison de 1 voix par 100 tonnes déposées dans les magasins agréés, sans que, pour une mine, il puisse y avoir plus d'un représentant pour l'exploitation et d'un pour la propriété.

2 par le Ministre, 2 par la Banque de Sicile et 2 par les Chambres de Palerme, Catane, Girgenti et Caltanisetta.

Des 9 membres du Conseil d'administration, 6 sont élus par les syndiqués, dont 3 au nombre et 3 par intérêt, et les 3 autres sont désignés respectivement par le Ministre, la Banque de Sicile et les Chambres de commerce.

Toutes les contestations entre le Syndicat et ses associés sur l'un quelconque des objets touchant à la loi qui les régit ont été déférées, pour plus de simplicité et de rapidité, à un tribunal spécial de trois arbitres qui décide en premier et dernier ressort.

L'ensemble de ces mesures doit assurer le fonctionnement de la combinaison dans l'avenir. Pour qu'elles pussent être appliquées dès la disparition de l'*Anglo-Sicilian Sulphur C°*, sans qu'il y ait de lacune entre le régime résultant du fonctionnement de la Société et celui de la loi, — qui n'est qu'une généralisation plus grande d'un même système, — un Commissaire et une Commission de 4 membres, tous nommés par le Roi (la Commission étant présidée par le Commissaire), assurent provisoirement la représentation et la gestion du Syndicat, en conformité d'un décret royal du 22 juillet 1906 : la loi a pu être ainsi appliquée sans un seul jour de transition.

La Banque de Sicile doit faire à la Commission les avances de fonds nécessaires à son fonctionnement, et elle fait gratuitement son service de caisse. Les Chambres de commerce et les communes de la Sicile doivent satisfaire gratuitement à toutes les réquisitions de la Commission.

La Commission provisoire doit préparer les statuts du Syndicat qui, après avoir été soumis au « Comité de délégués », doivent être approuvés par décret royal.

A côté de ces dispositions sur la création et la gestion du Syndicat, la loi contient diverses autres clauses relativement accessoires, destinées tant à faciliter le fonctionnement pratique de la combinaison qu'à remédier

aux maux dont a toujours souffert l'industrie soufrière de la Sicile.

Ainsi, la loi fait remise au Syndicat des sommes versées au titre de l'impôt foncier, auquel sont assujetties les mines de soufre de Sicile, et qui aura été payé par les intéressés. L'administration des chemins de fer de l'État doit reverser au Syndicat la moitié des sommes perçues par elle pour le transport des soufres, sans que cette somme puisse dépasser 850.000 *lire* pour l'année (*). Ces deux ressources sont affectées au service des obligations créées pour la liquidation des stocks.

D'autre part, la loi a pourvu à la création de magasins généraux, spécialisés pour le soufre, dans les ports de Catane, Porto-Empedocle et Licata, et autres s'il y échet, et à la création d'une « Banque autonome de crédit minier pour la Sicile ».

Doivent concourir à la formation des capitaux nécessités par l'Agence des magasins généraux : la Banque de Sicile et la Caisse centrale d'épargne Victor-Emmanuel (**). Tous les soufres consignés au Syndicat pour la vente doivent être exclusivement déposés à ces magasins et conservés par eux (***). Ceux-ci sont tenus de faire l'avance, sans intérêt, des frais de transport de la gare expéditrice au magasin, avec un privilège sur le soufre déposé, privilège ayant rang avant celui du créancier gagiste.

(*) D'après le rapport de la Commission de la Chambre des députés, le tarif pour les soufres est de 8c,3 par tonne kilométrique pour les 100 premiers kilomètres; et peu de mines sont à une distance plus considérable d'un port; le transport des soufres produirait annuellement 2.400.000 *lire*.

(**) On n'a pas manqué de relever et de critiquer dans la discussion ces clauses obligatoires pour la Banque de Sicile et surtout la Caisse d'épargne. On a dit pour les expliquer qu'elles avaient été acceptées par les interessés.

(***) En attendant la création de ces magasins publics, le Syndicat peut désigner des magasins privés pour les remplacer sous la direction de l'Agence des magasins généraux.

Accessoirement, la loi (art. 20) déclare d'utilité publique non seulement les travaux nécessaires pour l'établissement des magasins généraux, y compris leurs embranchements particuliers et leur jonction avec les quais d'embarquement, mais encore pour l'établissement des voies devant relier les mines aux gares.

La « Banque autonome de crédit minier pour la Sicile » est constituée avec un premier capital de 2 millions de *lire* donnés par l'État et une autre somme pouvant aller à 2 millions, qui sera avancée par la Banque de Sicile à l'intérêt minimum et lui sera remboursée par le Syndicat dans un délai de huit ans au plus.

Cette Banque a pour objet de faire des avances aux exploitants au taux de 5 p. 100 au plus, avec garantie sur le soufre brut ou autre garantie équivalente.

Pour faire face aux charges spéciales qui lui incombent, le Syndicat peut faire les prélèvements (art. 13) suivants sur les ventes :

1° Les sommes fixées par le « Comité de délégués » pour les dépenses d'administration sans qu'elles puissent dépasser 1 *lira* par tonne ;

2° Les sommes nécessaires pour la constitution du capital de la « Banque autonome de crédit minier » et pour venir au secours des ouvriers atteints par le chômage en cas de restriction ordonnée pour la production, sans que ces sommes puissent dépasser 4 *lire* par tonne ;

3° La somme de 0',50 par tonne pour être versée à la « Caisse de prévoyance pour l'invalidité et la vieillesse », en vue de constituer un fonds spécial pour créer des secours d'invalidité et de vieillesse en faveur des ouvriers des mines de soufre de Sicile.

Enfin, l'État a accordé de nouveaux allégements à l'industrie soufrière.

Il l'a dégrevée de la taxe d'enregistrement pour les cessions de propriétés ou du droit d'exploiter, et il a dé-

grevé de toute taxe les industries de la mouture, du raffinage et de la sublimation du soufre national et consolidé pour l'avenir au taux de 1905 les centimes additionnels provinciaux et communaux sur les mines (art. 24) ; enfin il a dégrevé de toute taxe les sociétés commerciales, notamment étrangères, qui se constitueraient pour exploiter des mines de soufre, des industries ou des maisons de commerce dont le soufre serait l'élément principal (art. 25).

La loi permet enfin de déclarer d'utilité publique tous les travaux nécessaires à l'extension ou à la création de pareilles industries (art. 26).

Telles sont les dispositions essentielles de cette loi du 15 juillet 1906. On n'a pas manqué de relever en Italie, pendant sa discussion, qu'elle n'a certainement rien d'analogue dans la législation de tout autre pays. Certains y verront peut-être le cadre d'une loi du socialisme de demain, avec la réunion et la répartition des produits enlevées aux libres initiatives individuelles pour être remises à l'État, ou à la collectivité fonctionnant sous la surveillance de l'État, suivant un cadre arrêté par lui ; et il est curieux de constater que cette forme, quelque peu teintée de socialisme, succède à un Syndicat libre, d'une forme capitaliste très moderne qui aurait en quelque sorte préparé les voies à l'autre. Toutefois, l'idée vraiment socialiste n'y est pas, parce que l'institution doit fonctionner en vue de procurer des bénéfices financiers, voire même le maximum de bénéfices possibles, à des producteurs capitalistes qui restent relativement libres dans leur rôle de producteurs. En tout cas, on ne peut dénier que cette loi ne se relie au système interventionniste le plus prononcé ; et, comme toujours en pareille circonstance, bien des clauses d'une telle charte semblent heurter, et parfois bien vivement, notamment pour la liquidation du passé, les principes tenus pour les plus certains en matière de liberté du travail, de liberté des con-

ventions et même de respect de la propriété. Mais, d'autre part, il ne faut pas perdre de vue les conjonctures absolument exceptionnelles de cette tentative. D'un côté, il s'agit d'un produit très spécial, livré par ses producteurs dans des conditions matérielles de très grande similitude; le produit est destiné à peu près exclusivement à l'exportation hors d'une île d'étendue relativement médiocre. D'un autre côté, l'industrie principale de cette Sicile qui gémit encore sous tant de maux était menacée sur l'heure d'une crise dont on ne pouvait prévoir les conséquences, à raison des conditions déplorables de la production actuelle où justement le vrai régime capitaliste moderne n'est pas assez intervenu jusqu'ici, et à raison, sur un marché très limité, d'une concurrence étrangère qui, née presque subitement, peut non moins rapidement devenir formidable. Que dans cette situation un Gouvernement responsable de la paix publique prenne des mesures qui ne puissent s'abriter que sous l'adage *Salus populi suprema lex esto*, trop souvent invoqué par toutes les tyrannies, qui oserait y contredire? Aussi bien, de ce que la durée de la mesure ne doit être que de douze ans on pourrait induire que l'on a songé plus à un assainissement temporaire, nécessité par des circonstances occasionnelles, qu'à une organisation définitive. La crise passée, d'autres mœurs établies, on sera sans doute heureux, pour le plus grand profit de tous, de revenir au régime de la liberté industrielle et des libres initiatives individuelles. Le principe de la loi admis, on ne peut, du reste, que remarquer, surtout pour le peu de temps qu'il a fallu mettre à la préparer, l'ingéniosité des dispositions adoptées pour atteindre le but que l'on visait. C'est là, du reste, chose dont est coutumier le droit italien moderne en matière économique.

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS SURVENUS DANS LES MINES ET CARRIÈRES.

Extraits des rapports du ministre de l'intérieur approuvés par le Président de la R
en 1906 (*).

NOMS prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	DÉCOMPENS décerné MÉDAILLES en or	en argent	MÉ de ... hon ... de fé
		22 février 1906. **LOIRE.**			
BADINAND (Mathieu),	Roche-la-Molière et Firminy (15 novemb. 1905).	Ont porté secours à trois de leurs camarades qui venaient de tomber asphyxiés par un dégagement de gaz toxiques au fond d'une galerie de mine.	»	»	Mé de
COUZAND (Etienne), ouvriers mineurs;			»	»	
ROA (François), entrepreneur mineur au service de la compagnie des mines de Roche-la-Molière et Firminy.			»	»	
		31 mars 1906. PAS-DE-CALAIS.	LÉGION D'HON		
PRUVOST (Charles),	Courrières (mars 1906).	Ont fait preuve d'une force morale exceptionnelle et d'une capacité professionnelle remarquable pendant les vingt journées de lutte et de souffrances subies par eux et leurs camarades au fond de la mine de Courrières.	Chevali		
NÉNY (Henri), ouvriers mineurs.			*id.*		

(*) Cet état fait suite à celui qui a été inséré dans le 2e volume de 1905 (p. 635).

NOMS …ns et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées — MÉDAILLES en or	en argent	MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables — LETTRES de félicitations
		5 avril 1906. PAS-DE-CALAIS.			
(Léon),	Courrières (mars 1906).	Mineurs survivants de la catastrophe de Courrières.	M. O.	»	»
ouis),			id.	»	»
(Anselme),			id	»	»
lbert),			id.	»	»
(Henri),			id.	»	»
lomain),			id.	»	»
Elie),			id.	»	»
'ictor),			id.	»	»
César),			id	»	»
VE (Léon),			id	»	»
(Honoré), mi-			id.	»	»
		9 avril 1906. SAVOIE.			
seph), mineur;	Salins (1er août 1905).	Ont exposé leur vie pour porter secours à deux ouvriers ensevelis dans une carrière.	»	»	Lettre de félicitations.
(Charles-Louis), cte;			»	»	id.
ulien-Eugène), eutenant à la gnie de sapeurs-rs de Moutiers;			»	»	id.
(Pietro-Paolo), vre;			»	»	Médaille de bronze.
rre-Jules), chef;				»	id.
(Angelo), mi-			»	»	Lettre de félicitations.
Carlo), manœu-			»	»	id.
(Casimir-Séra- manœuvre.			»	»	id.
		10 avril 1906. PAS-DE-CALAIS.			
Pierre-Auguste), .	Courrières (mars 1906).	Survivant de la catastrophe de Courrières.	M. O.	»	»

NOMS prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENS[ES] décernées — MÉDAILLES en or	en argent
		26 avril 1906. PAS-DE-CALAIS.		
HANSMEIER (Peter), Reviersteiger ;	Courrières (mars-avril 1906).	Se sont distingués par leur courageuse conduite à la suite de la catastrophe de Courrières.	M. O.	»
MIDDENDORF (Heinrich), Reviersteiger;			id.	»
DROSTE (Heinrich), Aufseher;			id.	»
FUNCKE (Friedrich), Fahrhauer;			id.	»
HANZ (August), Fahrhauer;			id.	»
NÜNKER (Hermann), Fahrhauer;			id.	»
OSIEK (Diedrich), Fahrhauer;			id.	»
EICKHOFF (Friedrich), Schrammeister;			id.	»
HULSBERG (Hermann), Hauer;			id.	»
FUNKE (Eduard), Hauer;			id.	»
JAGER (Georg), Hauer;			id.	»
RHEINKING (Johann), Hauer;			id.	»
WULFMEIER (Friedrich), Klempner;			id.	»
KOCH (Hugo), Brandinspektor;			id.	»
BERGHAUS (Wilhelm), Oberfeuermann ;			id.	»
FREUND (Karl), Feuermann;			id.	»
HÜLS (Friedrich), Feuermann;			id.	»
KRANSKOPF (Karl), Feuermann;			id.	»
MONTAG (Karl), Feuermann;			id.	»
ENGEL (Konrad), Burgmeister;			id.	»
FRENTZEL (Walter), Burgassessor;			id.	»
STERNBERG (Adolf), Burgassessor ;			id.	»

NOMS noms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENSES décernées — MÉDAILLES en or	MÉDAILLES en argent	MÉDAILLES de bronze — MENTIONS honorables — LETTRES de félicitations
		26 avril 1906. PAS-DE-CALAIS.			
(Fritz), Burgas-r;	Courrières (mars-avril 1906).	Se sont distingués par leur courageuse conduite à la suite de la catastrophe de Courrières.	M. O.	»	»
ulius), Oberteiger;			id.	»	»
to), Burgassessor;			id.	»	»
MANN (Wilhelm), steiger;			id	»	»
s (Hubert), Klemp-eister.			id.	»	»
		11 juin 1906. LOIRE.			
ROUX (Augustin), ier mineur.	St-Etienne (29 mai 1905).	A porté secours à un de ses camarades enseveli sous un éboulement dans une galerie de mine.	»	»	Mention honorable.
		25 août 1906. PAS-DE-CALAIS.			
OURNAY (Pierre-Joseph), maire de Billy-Montigny;	Courrières (mars 1906).	Se sont distingués par leur dévouement et leur abnégation lors de la catastrophe des mines de Courrières.	»	M. A	»
URENT (Alfred), adjoint au maire de Billy-Montigny:			»	id.	»
uve PIERRE, née Strady (Albertine);				»	Médaille de bronze.
SSAGE, née Deschamps (Eugénie);			»	»	id.
uve BERNARD, née Langlin (Estelle);			»	»	id.
NDEUR, née Duval Amélie-Joséphine-Félicie);			»	»	id.
UILBERT, née Lombrez (Célina); liés à Billy-Mon-;			»	»	id.
COMBLE, secrétaire mairie de Billy-igny.			»	»	Mention honorable.

NOMS prénoms et qualités	LIEUX et dates	ANALYSE des faits	RÉCOMPENS[ES] décernées MÉDAILLES en or	 en argent	 [cut off]
		SEINE-INFÉRIEURE.			
Fessard (Augustin-Isidore), propriétaire à Valmont.	**Valmont (26 décemb. 1904).**	**A coopéré au sauvetage de deux ouvriers ensevelis dans une marnière.**	»	»	Méd… br…
		25 septembre 1906.			
		SEINE-INFÉRIEURE.			
Miquignon (Aimé-Stanislas-Cyprien), journalier à Millebosc.	**Guerville (5 mai 1906).**	**A porté secours à un homme enseveli sous un éboulement dans une marnière.**	»	»	Lett… licit…
		10 octobre 1906.			
		NORD.			
Vilcot (Paul),	**Denain (11 août 1906).**	**Ont exposé leur vie en portant secours à deux mineurs ensevelis sous un éboulement dans une galerie de mines.**	»	M. A.	
Bruniau (Louis),			»	»	Méd… b…
Bruniau (Jules),			»	»	
Pinchon (Célestin), ouvriers mineurs à la Compagnie d'Anzin.			»	»	
		20 novembre 1906.			
		PAS-DE-CALAIS.			
Mme veuve Colcanap, née Bernard (Céline), à Billy-Montigny.	Courrières (février 1906).	S'est tout particulièrement distinguée lors de la catastrophe des mines de Courrières.	»	»	Mé…
		VAR.			
Boutin (Pierre-Marius), chef de chantier à la mine Léon, à Mazaugues;	Mazaugues (5 mai 1906).	Ont opéré, au péril de leur vie, le sauvetage de plusieurs ouvriers en danger d'être asphyxiés au fond d'une mine.	»	»	Mé…
Gimonet (André), chef de chantier;			»	»	
Moutte (Auguste-Joseph), journalier au même lieu.			»	»	

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE EN 1905 (*).

I. — Charbonnages.

1° *Exploitation.* — La production houillère de la Belgique a été, en 1905, de 21.775.280 tonnes, d'une valeur globale de 275.164.500 francs. L'extraction a diminué de 986.150 tonnes par rapport à l'année 1904, soit 4,3 0/0, et la valeur globale de 11.483.650 francs (4 0/0). La grève survenue au début du 1er semestre de 1905 est une des principales causes de cette diminution.

Le prix moyen de la tonne a été de 12 fr. 64, soit 0 fr. 05 de plus que l'année précédente.

L'extraction s'est répartie comme suit entre les districts houillers :

	Tonnes.	Francs.
Hainaut	15.158.730	187.707.000
Namur	742.140	8.260.000
Liège	5.874.410	79.197.500
Totaux	21.775.280	275.164.500

L'effectif du personnel ouvrier a été de 134.747 travailleurs, soit 3.820 de moins qu'en 1904; en voici la répartition :

		Ouvriers à l'intérieur	Ouvriers à la surface
Hommes et garçons	au-dessus de 16 ans	90.908	26.210
	de 14 à 16 ans	4.510	1.609
	de 12 à 14 ans	2.262	1.562
Femmes et filles	au-dessus de 21 ans	25	1.414
	de 16 à 21 ans	»	3.343
	de 12 à 16 ans	»	2.904
Totaux		97.705	37.042
		134.747	

La production annuelle par ouvrier du fond a été de 223 tonnes.

La production par ouvrier du fond et de la surface réunis a été de 162 tonnes, 2 de moins que l'année précédente.

(*) Voir, pour la Statistique de 1904, *Annales des Mines*, 2e vol. de 1905, p. 637.

Le total des salaires s'est élevé, en 1905, à la somme de 154.233.850 francs, ce qui établit le salaire annuel moyen de l'ouvrier, sans distinction de travail ni de sexe, à 1.145 francs, 28 de moins qu'en 1904. En réalité, si l'on déduit les retenues pour les institutions de prévoyance, certaines consommations au compte de l'ouvrier, ce salaire se réduit à 1.129 francs, au lieu de 1.155 l'année précédente; d'où une diminution de 26 francs, ou 2,25 p. 100, en 1905.

Le salaire journalier net a passé de 3 fr. 84 à 3,90, soit 0 fr. 06 d'augmentation. Cette augmentation est générale : elle porte aussi bien sur les salaires des ouvriers de l'intérieur que sur ceux des ouvriers de la surface.

Si l'on distingue les exploitations qui ont présenté des excédents de recettes ou de dépenses, on trouve qu'il y a eu :

82 charbonnages en gain, avec un bénéfice de.	24.404.150 francs
39 — en perte, avec un déficit de..	6.447.350 —
Soit une différence en faveur des recettes de..	17.956.800 francs

Cette différence était de 16.940.250 francs en 1904.

2° *Mouvement commercial des combustibles.* — Le mouvement commercial des combustibles en Belgique, durant l'année 1905, se résume dans les chiffres suivants :

			Tonnes.
Production			22.761.430
Consommation des charbonnages (à déduire)			2.273.860
Diminution du stock (à ajouter)			884.973
Importation...	Houille	4.230.313	4.769.284
	Briquettes	66.032	
	Coke	472.939	
Exportation....	Houille	4.704.063	6.438.190
	Briquettes	436.545	
	Coke	1.297.582	
Reste acquis à la consommation			18.717.487

Le coke a été exprimé en houille dans le total de l'importation, de l'exportation et de la consommation, à raison de 1.328 kilogrammes de houille par tonne de coke.

Quant aux briquettes, il a été compté 909 kilogrammes de houille pour 1 tonne d'agglomérés.

II. — Mines métalliques et minières.

La production des mines métalliques et des minières de la Belgique, en 1905, a été la suivante :

	Tonnes.		Francs.
Minerais de fer	176.940	valant	699.650
Minerais de plomb	126		13.050
Minerais de zinc	3.929		330.800
Pyrite	976		4.900
Représentant une valeur totale de			1.048.400

Cette valeur est inférieure de 101.400 francs à celle de l'année précédente.

L'effectif du personnel ouvrier a été de 698 individus, soit 130 de moins qu'en 1904.

Il n'y a eu qu'une seule mine en activité; quant aux minières de fer, on en a compté 56 centres en exploitation, au lieu de 66 en 1904.

III. — Carrières.

Le tableau ci-dessous indique, pour l'année 1905, les quantités et les valeurs des produits extraits des carrières belges :

	Quantités.		Valeurs.
Marbre	m^3	17.254	2.709.600
Pierre de taille bleue	m^3	207.390	19.614.560
Pierre blanche et tuffeau taillés	m^3	32.760	325.000
Pierres diverses taillées	m^3	4.465	312.150
Dalles et carreaux en calcaire.	m^2	68.240	360.745
Dalles et tablettes en schiste ardoisier et autres	m^2	15.215	19.080
Ardoises	mille pièces	41.435	1.576.650
Pavés en porphyre	—	57.928	7.387.760
Pavés en grès	—	54.960	5.451.800
Pavés en calcaire	—	2.552	157.120
Moellons, pierrailles et ballast.	m^3	3.303.910	8.071.065
Castine et calcaire pour verrerie	m^3	250.500	436.350
Dolomie	m^3	78.860	137.450
Chaux	m^3	1.493.745	10.107 770
Craie blanche	m^3	372.000	586.020
Phosphate de chaux	tonnes	193.305	1.721.720
Craie phosphatée brute	m^3	80.380	374.630
Silex pour faïenceries	m^3	12.800	39.650
Silex pour empierrements	m^3	26.895	80.440
Sable pour verreries	m^3	132.110	408.950
Sable pour constructions, etc.	m^3	632.925	830.980
Pierre à aiguiser	pièces	154.820	113.050
Terre plastique	tonnes	274.550	2.060.910
Eurite et kaolin	tonnes	1.600	13.400
Sulfate de baryte	tonnes	26.000	260.000
Sables pour produits réfractaires	m^3	10.360	33.420
Argiles	m^3	34.200	171.000
A reporter			63.361.270

		QUANTITÉS.	VALEURS.
Report............			63.361.270
Quartz pour faïenceries.......	tonnes	750	3.000
Ocre........................	tonnes	300	6.000
Tuf calcaire..................	tonnes	120	2.150
Schiste houiller..............	tonnes	14.000	20.000
VALEUR TOTALE........................			63.392.420

Il y a eu 1.648 carrières en exploitation, comprenant dans leur ensemble 1.209 sièges à ciel ouvert et 439 sièges souterrains, et occupant 38.641 ouvriers.

La province d'Anvers et les deux Flandres ne sont pas comprises dans le tableau ci-dessus. Elles ne fournissent d'ailleurs que des argiles tertiaires servant à la fabrication des briques, carreaux, tuiles, et des sables de la même formation, employés, entre autres usages, à la fabrication du verre.

IV. — Métallurgie.

Les usines métallurgiques sont réparties en cinq groupes :

1° *Hauts fourneaux.*

Nombre d'usines (actives).............	15
Nombre de hauts fourneaux (actifs)....	35
Nombre d'ouvriers.....................	3.655
Production en fonte...................	1.311.120 tonnes
Valeur de la production...............	79.132.800 francs
Prix moyen de la tonne..............	60f,35

2° *Usines à fer.*

Nombre d'usines actives..............	40
Nombre de fours à puddler (actifs)........	290
— à réchauffer et autres (id.)	390
Nombre d'ouvriers....................	11.901
Production en fers finis...............	377.620 tonnes
Valeur de la production...............	48.105.370 francs
Prix moyen de la tonne..............	127f,38

3° *Aciéries.*

Nombre d'usines (actives).............	20
Nombre de fours Martin (actifs)........	22
Nombre de convertisseurs (actifs)......	49
Nombre de fours à réchauffer (actifs)...	96
Nombre d'ouvriers....................	12.258
Production en acier (produits finis).....	768.470 tonnes
Valeur de la production...............	91.519.200 francs
Prix moyen de la tonne...............	119f,09

4° *Usines à zinc.*

Nombre d'usines (actives).............	12
Nombre de fours (actifs)...............	471
Nombre d'ouvriers.....................	6.087
Production en zinc brut................	142.555 tonnes
Valeur de la production................	88.495.950 francs
Prix moyen de la tonne................	620f,78

5° *Usines à plomb et à argent.*

Nombre d'usines (actives)...............		4
Nombre de fours à manche (actifs)....		31
— à réverbère (id.)		4
— de coupelle (id.)		10
Nombre d'ouvriers.....................		1.309
Production.....	Plomb brut..........	22.885 tonnes
	Argent..............	201.935 kilog.
Valeur de la production......	Plomb brut..........	7.923.245 francs
	Argent..............(*)	23.447.900 francs
Prix moyen....	de la tonne de plomb brut...............	346f,22
	du kilogramme d'argent...............	116f,12

V. — Accidents.

Les accidents survenus dans le courant de l'année 1905 se répartissent comme suit :

	CHARBONNAGES	MINES métalliques et minières	CARRIÈRES souterraines	CARRIÈRES à ciel ouvert	USINES métallurgiques	TOTAL
Nombre d'accidents	269	1	11	»	72	353
Morts............	132	1	9	»	26	168
Blessés grièvement	175	»	6	»	53	234

Le nombre des ouvriers occupés dans les charbonnages ayant été (fond et surface réunis) de 134.747, la proportion des ouvriers tués, afférente à l'industrie houillère, a été de 9,8 par 10.000 travailleurs. Elle avait été de 9,31 l'année précédente.

La classification par *causes* des accidents survenus dans les houillères est donnée dans le tableau suivant :

(*) Y compris 871 kilogrammes d'or non extraits en Belgique, valant 2.987.610 francs ; ce qui donne pour la valeur du kilogramme d'argent pur : 101 fr. 76.

	Nombre des Accidents	Nombre des Tués	Nombre des Blessés
I. — *Intérieur des travaux.*			
Accidents survenus dans les puits, tourets ou descenderies servant d'accès aux travaux souterrains. — A l'occasion de la translation des ouvriers — Par câbles, cages, cuffats, etc.	6	6	1
— Par échelles	»	»	»
— Par fahrkunst	»	»	»
— Par éboulements, chutes de pierres et corps durs	2	»	3
— Dans d'autres circonstances	5	»	5
Accidents survenus dans les puits intérieurs et les cheminées d'exploitation. — Par l'emploi des câbles	1	»	1
— Par l'emploi des échelles	»	»	»
— Dans d'autres circonstances	5	2	3
Éboulements (y compris les chutes de pierres et blocs de houille, etc.) dans les chantiers et les voies	92	50	45
Accidents causés par le grisou. — Dégagement normal — Inflammations dues aux coups de mines	»	»	»
— aux appareils d'éclairage — Ouverture de lampes	2	»	2
— aux appareils d'éclairage — Défectuosités, bris, etc.	1	16	[illegible]
— à des causes diverses ou inconnues	»	»	»
— Asphyxies	3	9	»
— Irruptions subites suivies d'inflammation	»	»	»
— d'asphyxies, de projections de charbon ou de pierres, etc.	»	»	»
Asphyxies par d'autres gaz que le grisou	1	1	»
Coups d'eau	1	4	»
Emploi d'explosifs — Minage	2	1	1
— Autres causes	1	»	2
Transport et circulation des ouvriers — Sur voies de niveau ou peu inclinées	38	8	30
— Sur voies inclinées où le transport se fait par hommes et chevaux	9	5	5
— treuils ou poulies	20	8	12
— traction mécanique	»	»	»
Causes diverses	36	3	33
Totaux	225	113	150
II. — *Surface (et dépendances classées).*			
Chutes dans les puits	»	»	»
Manœuvres des véhicules	10	3	7
Machines et appareils mécaniques	16	4	12
Causes diverses	9	3	6
Totaux	35	10	25
Totaux généraux	260	123	17[illegible]

(Extrait de la *Statistique des industries extractives et métallurgiques et des appareils à vapeur en Belgique*, pour l'année 1905. Bruxelles, 1906.)

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1906 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BERTRAND (J.). — Calcul des probabilités. 2e édition conforme à la 1re. In-8°, LVII-322 p. Paris, Gauthier-Villars. 12 fr. (10439)

DUHEM (P.). — Recherches sur l'élasticité. De l'équilibre et du mouvement des milieux vitreux. Les Milieux vitreux peu déformés. La Stabilité des milieux élastiques. Propriétés générales des ondes dans les milieux visqueux et non visqueux. In-4°, 222 p. Paris, Gauthier-Villars. 12 fr. (Extr. des *Annales scientifiques de l'École normale supérieure.*) • (8115)

JOUFFRET (E.). — Mélanges de géométrie à quatre dimensions. In-8°, XI-228 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 7 fr. 50 (6113)

LAURENT (H.). — La Géométrie analytique générale. In-8°, VII-153 p. Paris, Hermann. (9818)

MAILLET (E.). — Introduction à la Théorie des nombres transcendants et des propriétés arithmétiques des fonctions. In-8°, V-280 p. Paris, Gauthier-Villars. 10 fr. (9052)

MIRINNY (L.). — Isonolyse (Résolution générale des Equations). Méthode primordiale. Pentisonolyse (Résolution générale de l'équation du cinquième degré). (1° Algébrique proprement dite ou par radicaux : 2° Exponentielle; 3° Trigonométrique ; 4° Géométrique ; 5° Troponomique.) Aperçu sommaire initial.

(*) Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

(Édition de 1896 élucidée et abrégée.) In-16, 4 p. et 3 planches. Paris, impr. Marquet. (7194)

PICARD (E.) et G. SIMART. — Théorie des fonctions algébriques de deux variables indépendantes. T. 2. In-8°, VI-528 p. Paris, Gauthier-Villars. (6548)

2° *Physique et Chimie.*

BEAULARD (F.). — Sur la déviation d'un ellipsoïde diélectrique placé dissymétriquement dans un champ électrique homogène : application à la mesure du pouvoir inducteur spécifique de l'eau. In-8°, 16 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères. (Extr. du *Journal de physique.*) (5799)

BERTHELOT. — Traité pratique de l'analyse des gaz. In-8°, IX-486 p. avec 109 fig. Paris, Gauthier-Villars. 17 fr. (9140)

BOUTY (E.). — Passage de l'électricité à travers des couches de gaz épaisses. — Loi de Paschen. — Application à la haute atmosphère. In-8°, 15 p. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du *Journal de physique.*) (5819)

BRILLOUIN (M.). — Leçons sur la viscosité des liquides et des gaz. 1re partie : Généralités. Viscosité des liquides. In-8°, VII-228 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 9 fr. (9540)

CHÉNEVEAU (C.). — Spectroréfractomètre à liquides de M. Ch. Féry. In-8°, 7 p. avec fig. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du *Journal de physique.*) (8467)

CHESNEAU (G.). — Principes théoriques des méthodes d'analyse minérale fondées sur les réactions chimiques. In-8°, 243 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (8086)

DITTE (A.). — Étude générale des sels. Leçons professées à la Faculté des sciences de Paris. 2 vol. in-8°, 1re partie. Sels binaires, VI-306 p. 2e partie. Sels ternaires oxygénés, 388 p. Paris, Dunod et Pinat. 1re partie, 10 fr. ; 2e partie, 12 fr. 50. (6066)

DUFOUR (A.). — Sur les spectres de l'hydrogène (1re thèse). Sur l'action de l'hydrogène sur le silicium et la silice (2e thèse). In-8°, 110 p. avec fig. Laval, impr. Barnéoud et Cie. (9594)

FRIEDHEIM (C.). — Précis d'analyse chimique quantitative des substances minérales, comprenant l'analyse volumétrique, l'analyse des gaz et l'électrolyse. Traduit d'après la 6e édition allemande, par le docteur *L. Gauthier.* In-8°, II-547 p. avec 42 fig. Paris, Béranger. (10503)

HENRIET (H.). — Contribution à l'étude de l'air atmosphérique (thèse). Petit in-8°, 103 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (8151)
HERBETTE (J.). — Contribution à l'étude de l'isomorphisme (thèse). In-8°, 103 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (6103)
JAFFÉ (G.). — Sur la conductibilité électrique de l'éther de pétrole sous l'action du radium. In-8°, 8 p. avec fig. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du *Journal de physique*.) (5909)
MARIE (C.). — Manuel de manipulations d'électrochimie. Préface de *H. Moissan*, membre de l'Institut, directeur de l'Institut de chimie appliquée de la Faculté des sciences de Paris. Données numériques réunies par *G. Noel*, ancien élève diplômé de l'Institut de chimie appliquée. In-8°, XI-166 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (10058)
MONNORY (H.). — Calcul élémentaire des valeurs des chaleurs spécifiques d'un liquide et de sa vapeur saturée à la température critique. In-8°, 4 p. avec fig. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du *Journal de physique*.) (8188)
PAUL. — Contribution à l'étude de la dissociation électrolytique en milieu hydroalcoolique (thèse). In-8°, 80 p. avec fig. Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie. (7826)
RASETTI (G.). — Étude sur l'action catalytique du cuivre dans quelques synthèses organiques (thèse). In-8°, 61 p. avec fig. Lyon, Rey. (9857)
SAGNAC (G.). — Une relation possible entre la radioactivité et la gravitation. In-8°, 7 p. avec fig. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du *Journal de physique*.) (7997)
SÉLIGMANN-LUI (A.). — Bases d'une théorie mécanique de l'électricité. In-8°, 43 p. avec fig. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du même recueil.) (8644)
TISSOT (C.). — Sur la résonance des systèmes d'antennes. In-8°, 19 p. avec fig. Paris, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. (Extr. du même recueil.) (8009)
Traité de Chimie minérale publié sous la direction de *Henri Moissan*, de l'Institut, et collaborateurs. T. 5. Métaux. Table alphabétique des 5 volumes. In-8°, v-1064 p. Paris, Masson et Cie. 34 fr. (5461)
VINING (A.-W.). — Contribution à l'étude des phénomènes électrocapillaires (thèse). In-8°, 55 p. avec fig. Paris, Hermann. (7687)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Baudon (T.). — Gisement, probablement pré-chelléen, d'un haut plateau diluvien du département de l'Oise. Pierre gravée de Bourg-de-Batz (L.-I.); sur un maillet ou marteau néolithique; sur une lampe néolithique. Communications faites au Congrès préhistorique de Périgueux. In-8°, 8 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (9137)

Bureau (E.). — Sur une Lépidodendrée nouvelle (*Thaumasiodendron andegavense*) du terrain houiller inférieur de Maine-et-Loire. In-8°, 11 p. avec fig. Angers, impr. Germain et Grassin. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scientifiques d'Angers.*) (9939)

Bureau (L.). — Note sur les grès Gothlandiens du synclinal d'Ancenis. In-8°, 6 p. Angers, impr. Germain et Grassin. (Extr. du même recueil.) (9940)

Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80.000. — Feuille 6 : Montreuil. — Feuille 58 : Morlaix. — Feuille 165 : Ussel. — Feuille 195 : Figeac. — Feuille 200 : Gap. — Feuille 201 : Larche. — Feuille 219 : Albi. — Feuille 221 : Le Vigan. — Feuille 251 : Luz. Avec notices explicatives. Paris, imp. Erhard fr. Ministère des Travaux publics. Chaque feuille, 6 fr. (565)

Cotte (C.). — Considérations sur le paléolithique de Provence. Communication faite au premier congrès préhistorique de France. Session de Périgueux. In-8°, 11 p. Le Mans, impr. Monnoyer. (7888)

Courty (G.). — L'Epoque de transition du tertiaire au quaternaire au point de vue de l'industrie humaine. Communication faite au premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux. In-8°, 7 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (7890)

Coutil (L.). — Similitude de certaines stations paléolithiques de la Dordogne, de la Charente, du Màconnais et de l'Eure. Les Andelys (Eure). Petit in-8°, 8 p. Le Mans, impr. Monnoyer. (Premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux.) (8096)

Davy (L.). — Ce que l'on croit savoir aujourd'hui sur la constitution géologique des environs de Chalonnes-sur-Loire. In-8°, 35 p. Angers, impr. Germain et Grassin. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'études scient. d'Angers.*) (9963)

Deprat (J.). — Étude sur la Corse. I. Étude pétrographique des roches éruptives sodiques de Corse. In-8°, 57 p. avec 16 fig.,

3 planches et 1 carte. Paris, Béranger. (Extr. du *Bull. des services de la carte géol. de la France et des topographies souterraines.*) (10221)

Deydier. — La Vallée du Largue néolithique. Ses silex, ses maillets, nouveaux types. Communication faite au premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux. In-8°, 32 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (7894)

Dharvent (J.). — Les Pierres à figures animées, silex à représentations anthropomorphes ou zoomorphes. Communication faite au premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux. In-8°, 7 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (7895)

Études des gîtes minéraux de la France publiées sous les auspices de M. le ministre des Travaux publics par le service des topographies souterraines. Les Assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du nord de la France; par M. *J. Gosselet*, doyen honoraire de la Faculté des sciences de l'Université de Lille. Fascicule 2 : Région de Lille. In-4°, VII-99 p. avec fig. Paris, Impr. Nationale. (Ministère des travaux publics.) (6074)

—— Bassin houiller et permien de Blanzy et du Creusot. Fascicule 2 : Flore fossile ; par *R. Zeiller*, inspecteur général des mines, membre de l'Institut. In-4°, 269 p. et Atlas de 52 pl. Paris, Impr. Nationale. (Ministère des travaux publics.) (10495)

Ferrasse (E.). — L'Hydrographie des bassins de la Cesse et de l'Ognon dans ses rapports avec la structure géologique (thèse). In-8°, 166 p. avec fig. et 5 planches. Montpellier, impr. Firmin, Montane et Sicardi. (7577)

Flamand (J.-B.) et Laquière. — Nouvelles Recherches sur le Préhistorique dans le Sahara. In-8°, 12 p. Paris, Impr. Nationale. (Extr. du *Bull. de géographie historique et descriptive.*) (5352)

Gauthier (A.). — La genèse des eaux thermales et ses rapports avec le volcanisme. In-8°, 59 p. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (5879)

Hue (E.). — Le Préhistorique dans la vallée de l'Orvane (Seine-et-Marne). Communication faite au premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux. In-8°, 15 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (7910)

Launay (L. de). — Observations géologiques sur quelques sources thermales (Cestona, Bagnoles, Chaudes-Aigues, Mont-Dore, etc.). In-8°, 47 p. avec fig. et pl. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (6119)

Leclère (A.). — Étude chimique du granite de Flamanville.

In-8°, 17 p. avec carte. Paris, Béranger. (Extr. du *Bull. des services de la carte géol. de la France et des topographies souterraines.*) (9657)

Mallet (A.). — La Station à industrie proto-chelléenne des Casseaux (Seine-et-Oise). In-8°, 16 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (Extr. du *Bull. de la Soc. préhistorique de France.*) (7921)

Martel (E.-A). — I. Réflexions sur Altamira, l'Age des gravures et peintures des cavernes; II, l'Oxydation des squelettes préhistoriques; III, les Dolmens taillés du Caucase occidental. Petit in-8°, 39 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (Premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux.) (8581)

Martin (H.). — A propos des éolithes. La Ligne sinueuse dans la taille du silex. Petit in-8°, 8 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (Premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux.) (8582)

—— Étude sur les livres de beurre du Grand-Pressigny. In-8°, 19 p. et fig. Paris, Schleicher frères. (Extr. du *Bull. de la Soc. préhistorique de France.*) (7806)

—— Industrie moustérienne perfectionnée. Station de la Quina (Charente). In-8°, 8 p. avec fig. Paris, Schleicher frères. (Extrait du même recueil.) (7923)

Petitclerc (P.). — Le Callovien de Baume-les-Dames (Doubs), sa faune. Étude géologique et paléontologique. Grand in-8°, 96 p. Vesoul, Bon. (5732)

Piette (E.). — Déplacement des glaces polaires et grandes extensions des glaciers. In-8°, 36 p. Saint-Quentin, impr. Poette. (6551)

Révil (J.) et M. Le Roux. — Contribution à la géologie des environs d'Annecy. Observations nouvelles sur la chaîne Semnoz-Nivollet. In-8°, 19 p. Annecy, Abry. (Extr. de la *Revue savoisienne.*) (10108)

Robert (A.). — La Grotte de Bou-Zabaouine, département de Constantine (Algérie). Petit in-8°, 11 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (Premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux.) (8399)

Schaudel (L.). — Les Roches à cupules et à gravures préhistoriques de la Savoie. La Pierre de Chantelouve. Petit in-8°, 8 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (Premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux.) (8642)

Thiot (L.). — Similitude de l'outillage néolithique aux environs de Breteuil-sur-Noye (Oise) avec celui de Spiennes (Belgique)

et des plateaux de l'Yonne. Petit in-8°, 4 p. avec fig. Le Mans, impr. Monnoyer. (Premier congrès préhistorique de France, session de Périgueux.) (8672)

Viré (A.). — Les stations paléolithiques de la haute vallée de la Dordogne (canton de Souillac, Lot). Petit in-8°, 7 p. Le Mans, impr. Monnoyer. (8223)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Blancarnoux (P.). — Les Majestés mécaniques. L'Art de produire et d'économiser la vapeur industrielle. T. 2 : Moteurs à vapeur. In-8°, p. 61 à 91. Paris, Dunod et Pinat. 1 fr. 50. (7949)

Gouilly (A.). — Transmission de la force motrice par l'air comprimé ou raréfié. 3e édition. In-16, 174 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie. (9013)

Grimshaw (R.). — L'atelier moderne de constructions mécaniques. Procédés mécaniques spéciaux et tours de main. 2e série. In-8°, 382 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 10 fr. (10280)

Hahn. — L'utilisation de l'énergie dans les machines thermiques et les progrès récents réalisés dans ce domaine. Conférence donnée, le 9 mai 1906, à l'Institut chimique à Nancy. In-8°, 28 p. avec fig. Nancy, impr. Pierron. (Suppl. du *Bull. trimestriel de la Soc. industrielle de l'Est.*) (8314)

Le Guilcher (J.-M.). — Traité pratique des chaudières et machines de la marine de commerce. (Description, régulation, montage, avaries, réparations, conduite.) Ouvrage dressé conformément aux programmes pour l'obtention des brevets de 1re et 2e classes. In-8°, 364 p. avec fig. et pl. Paris, Challamel. (6125)

Stodola (A.). — Les Turbines à vapeur, ouvrage suivi de considérations sur les machines thermiques et leur avenir, ainsi que sur la turbine à gaz. Traduit d'après la 3e édition allemande, par E. Hahn, ingénieur, directeur du laboratoire de mécanique appliquée de l'Université de Nancy. In-8°, xxiv-633 p. avec fig. et planches. Paris, Dunod et Pinat. 25 fr. (10133)

Walckenaer (C.). — Compte rendu de quelques essais relatifs à l'écoulement de la vapeur. In-8°, 15 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (5778)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Arnold (E.). — La Machine dynamo à courant continu. Théorie, Construction, Calcul, Essais et Fonctionnement. Traduction

française par *E. Boistel*, électricien expert près les cours et tribunaux, et *E.-J. Brunswick*, électricien, ingénieur des arts et manufactures. T. 2. Construction, Calcul, Essais et Fonctionnement de la machine à courant continu. In-8°, XXXIV-745 p. avec 496 fig. Paris, Béranger. (6613)

CHARET (C.). — Fabrication de tubes sans soudure par le procédé de Louvroil. In-8°, 20 p. avec 6 fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (8266)

GIN (G.). — Mémoires sur l'électrométallurgie. Communications faites au sixième congrès international de chimie appliquée à Rome. In-4°, 16 p. avec 4 fig. Chartres, impr. Durand. (Extr. de *l'Éclairage électrique.*) (8787)

GRANDEAU (L.). — La Production électrique de l'acide nitrique avec les éléments de l'air (Le nitrate de chaux et l'agriculture; le Four électrique Birkeland-Eyde; la Fabrique de nitrate de chaux de Notoddon). In-8°, 64 p. avec 7 fig. et 22 simili-gravures. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie; Libr. agricole de la Maison rustique; libr. du « Temps ». (Extr. des *Annales de la Science agronomique française et étrangère.*) (8510)

HOLLARD (A.) et L. BERTIAUX. — Analyse des métaux par électrolyse. Métaux industriels, alliages, minerais, produits d'usines. In-8°, 192 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. 6 fr. (7301)

JACQUIN (C.). — Les Alternateurs à collecteur monophasés et polyphasés et les dynamos à courant continu à deux paires de balais. In-8°, VIII-144 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 3 fr. 50. (10529)

LEBLOND (H.). — Cours élémentaire d'électricité pratique. 5e édition. In-8°, VI-616 p. avec 221 fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. 8 fr. (8337)

LEGROS (L.). — Essais récents de turbo-alternateurs d'Oerlikon. In-4°, 15 p. avec 11 fig. Paris, 40, rue des Écoles. (Extr. de *l'Éclairage électrique.*) (9041)

LEWKOWITSCH (J.). — Technologie et Analyse chimiques des huiles, graisses et cires. Traduit de la 3e édition anglaise spécialement revue et augmentée par l'auteur, par *E. Bontoux*, ingénieur chimiste de l'École de chimie industrielle de Lyon, directeur technique de la Société anonyme de savonnerie marseillaise. T. Ier. In-8°, XIX-561 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. 20 fr. (10311)

LODIN. — Élimination du soufre des produits sidérurgiques. In-8°, 56 p. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (5945)

MONTPELLIER (J.-A.). — L'Électricité à l'Exposition universelle et internationale de Liège (1905); avec une introduction par *E. Sartiaux*, président du comité du groupe V (Électricité) à l'Exposition de Liège. Section française. In-8°, XXX-494 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. 18 fr. (10072)

PÉCHEUX (H.). — Les Produits chimiques. — II. Le Salpêtre et les Azotates. (Les explosifs, les phosphates, les engrais, le phosphore, l'acide phosphorique, les allumettes.) In-16, 96 p. avec 19 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. Cartonné, 1 fr. 50. (6820)

—— —— III. Les couleurs, les matières colorantes, les mordants en teinture. In-16, 96 p. avec 20 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. Cartonné, 1 fr. 50. (6821)

—— Traité de manipulations et de mesures électriques et magnétiques industrielles. In-18° jésus, 540 p. avec 189 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (9699)

RICHARD (P.). — Le Lingot d'acier comprimé. Compression par tréfilage (Procédé Harmet). In-8°, 35 p. avec 8 fig. et 2 planches. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. (Extr. de la *Revue d'artillerie.*) (8623)

RIVIÈRE (C.-O.). — Contribution à la recherche et au dosage de l'oxyde de carbone dans les atmosphères industrielles (thèse). In-8°, 44 p. Lille, Le Bigot frères. (8398)

ROESSLER (G.). — Transmission de l'énergie à grande distance. Théorie et Calcul des lignes à courants alternatifs. Traduit de l'allemand par *E. Steinmann*, docteur ès sciences, professeur à l'Ecole de mécanique de Genève. In-8°, XIV-292 p. avec fig. et planches. Paris, Béranger (10623)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

DEVILERDEAU (J.). — Manuel pratique des travaux d'exploitation des mines par les procédés les plus récents, pour les contremaîtres et les ouvriers mineurs. In-18, 101 p. avec fig. et grav. Paris, impr. Chaudron. (8104)

GAUTHIER (F.). — Chili et Bolivie. Étude économique et minière. In-8°, VI-230 p. avec cartes. Paris, Guilmoto. 6 fr. (10259)

MOREAU (G.). — Étude sur l'état actuel des mines du Transvaal. Les gîtes. — Leur valeur. — Étude industrielle et financière. In-8°, IV-223 p. avec fig. Paris, Béranger. (6523)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Allard. — Histoire du tunnel et des travaux du Simplon. In-8°, 28 p. et carte des tunnels des Alpes et des voies d'accès projetées. Besançon, impr. Jacquin. 0 fr. 50. (Extr. des *Mém. de l'Acad. de Besançon.*) (5488)

Aragon (E.). — Résistance des matériaux appliquée aux constructions. Méthodes pratiques par le calcul et la statique graphique. T. 2. (Poutres à travées solidaires. Dénivellation des appuis et lançage des ponts, etc.) In-16, viii-752 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (5790)

Demoulin (M.). — La locomotive actuelle. Étude générale sur les types récents de locomotives à grande puissance. — Proportions. — Conditions d'établissement. — Construction. — Régime économique. — Utilisation. — Revue des principaux types usités en Europe et aux États-Unis. — Complément au traité pratique de la machine locomotive. Gr. in-8°, iii-337 p. avec 132 fig. dans le texte et 40 planches hors texte. Paris, Béranger. (6692)

Fricker. — Rivetage. In-16, 168 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars ; Masson et Cie. (5625)

Malette (J.). — Chimie et Physique appliquées aux travaux publics (analyses et essais des matériaux de construction). Petit in-8°, xii-619 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (8177)

Marié (G.). — Les Dénivellations de la voie et les oscillations du matériel des chemins de fer. In-8°, xvi-142 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (8580)

Perrin (R.). — Sur une méthode nouvelle de notation des enclenchements. In-8°, 48 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. du même recueil.) (6171)

Sartiaux (A.). — Note à propos du tunnel sous la Manche. In-8°, 22 p. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. de la *Revue générale des chemins de fer et des tramways.*) (8640)

Serrin (H.). — Organisation et fonctionnement des chemins de fer vicinaux belges. In-4°, 31 p. Paris, Vve Dunod. (6225)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1903. Documents divers. 2e partie. Intérêt local et tramways. In-4°, 494 p. Melun, Impr. administrative. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (7859)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1904. Documents principaux. Grand in-4°, vi-573 p. Melun, Impr. administrative. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (8896)

ZILLICH (K.). — La Statistique appliquée à la résistance des matériaux et aux constructions civiles, à l'usage des écoles professionnelles, des architectes, des entrepreneurs, des constructeurs, des agents voyers, des conducteurs des ponts et chaussées, etc. Traduit de l'allemand par *M. Thibaut*, ingénieur, et *E. Hublet*. Avec de nombreux exemples et applications numériques. In-8°, III-432 p. avec 371 fig. Paris, Béranger. (10640)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

BELLOM (M.). — L'Enseignement économique et social à l'École nationale supérieure des mines. Le Rôle économique et social de l'ingénieur. Leçon d'ouverture du 29 octobre 1906. Petit in-8°, 31 p. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Publications du journal *le Génie civil.*) (9919)
GILLET (P.). — Le Rachat des compagnies de chemins de fer en France (thèse). In-8°, 260 p. Besançon, impr. Jacquin. (10266)
Législation minière et Législation ouvrière. Texte des principales lois et Répertoire méthodique des lois, décrets, circulaires et autres documents officiels relatifs aux mines et à leur personnel. Petit in-8°, 167 p. Paris, rue de Châteaudun. 2 fr. 50. (Comité central des houillères de France.) (7623)
LESOUDIER (C.). — De la responsabilité de l'exploitant du tréfonds vis-à-vis du propriétaire de la surface. In-8°, 80 p. Paris, Larose et Tenin. (Extr. de la *Revue trimestrielle de droit civil.*) (9256)
NIVIÈRE (G.). — De quelques modifications à apporter à la législation des eaux minérales. Petit in-8°, 32 p. Vichy, impr. Bougarel. (8192)

9° *Objets divers.*

ARON (A.). — Note sur l'industrie française des schistes bitumineux. In-8°, 31 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines.*) (5791)
BRESSON (H.). — La Houille verte. Mise en valeur des moyennes et basses chutes d'eau en France. Préface de *Max de Nansouty*. In-8°, XXII-278 p. avec fig. Paris, Dunod et Pinat. 7 fr. 50. (6289)
FRANÇOIS (E.). — Anémie des mineurs (Étiologie, Séméiologie, Prophylaxie, Organisation médicale). In-8°, 123 p. avec 8 pl. Paris, Maloine. (7590)

GRAFFIGNY (H. de). — Dictionnaire des termes techniques employés dans les sciences et dans l'industrie. Recueil de 25.000 mots techniques avec leurs différentes significations. Préface de *Max de Nansouty*. Petit in-8° à 2 col., x-839 p. Paris, Dunod et Pinat. 12 fr. 50. (8137)

PICARD (A.). — Le Bilan d'un siècle (1801-1900). T. 4 : Mines et Métallurgies, industries de la décoration et du mobilier, chauffage et ventilation, éclairage non électrique, fils, tissus, vêtements. Grand in-8°, 457 p. Paris, Le Soudier. 10 fr. (10597)

Rapports des ingénieurs des mines aux conseils généraux sur la situation des mines et usines en 1905. In-4°, 392 p. Paris, Comité central des houillères de France. (10106)

Statistique de l'industrie minérale de la France. (Année 1905.) In-8°, 11 p. Paris, Dunod et Pinat. (Extr. des *Annales des Mines*.) (8298)

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

LOVE (A.-E.-H.). — Theoretical Mechanics. An Introductory Treatise on the Principles of Dynamics. 2nd ed. In-8°, 384 p. Cambridge, University Press. 15 fr.

WHITEHEAD (A.-N.). — On Mathematical Concepts of the Material World. In-4°. Dulau. 3 fr. 15.

YOUNG (W.-H. and YOUNG G.). — The Theory of Sets of Points. In-8°, 328 p. Cambridge University Press. 15 fr.

2° *Physique et Chimie.*

D'ALBE (E.-E. Fournier). — The Electron Theory. A Popular Introduction to the new Theory of Electricity and Magnetism. With a Preface by *Johnstone Stoney*. In-8°, 336 p. Longmans. 6 fr. 25.

BERKELEY (The Earl of) and HARTLEY (E.-G.-J.). — On the Osmotic Pressures of some Concentrated Aqueous Solutions. In-4°, 27 p. Dulau. 1 fr. 90.

BONE (W.-A.) and WHEELER (R.-V.). — The Combination of Hydrogen and Oxygen in Contact with Hot Surfaces. In-4°. Dulau. 3 fr. 75.

Bousfield (W.-R.). — Ionic Size in Relation to the Physical Properties of Aqueous Solutions. In-4°. Dulau. 3 fr. 75.

Dunton (W.-F.). — A Treatise on the Grouping of Electric Cells. In-12, 52 p. Spon. 1 fr. 90.

Gibson (C.-R.). — Electricity of To-day. With 39 Illusts. In-8°, 347 p. Seeley. 62 fr. 50.

Gooch (F.-A.) and **Browning** (P.-E.). — Outlines of Qualitative Chemical Analysis. In-8°. Chapman and Hall. 6 fr. 90.

Grossman (J.). — Ammonia and its Compounds. In-8°, 164 p. Harper. 3 fr. 15.

Jamieson (A.). — A Practical Elementary Manual of Magnetism and Electricity. 7th ed., thoroughly revised. In-8°, 414 p. C. Griffin. 4 fr. 40.

Jones (H.-C.). — The Electrical Nature of Matter and Radioactivity. In-8°, 222 p. Constable. 9 fr. 40.

On the Connection between the Critical Temperature of Gases and Vapours and their Absorption, Co-efficients, and the Viscosity of the Solvent Medium. In-8°, 9 p. W. Wesley. 1 fr. 25.

Poynting (J.-H.) and **Thomson** (J.-J.). — A Text-Book of Physics : Sound. 4th ed., carefully revised. In-8°, 176 p. C. Griffin. 10 fr. 65.

Rutherford (E.). — Radioactive Transformations. With Diagrams. In-8°, 298 p. Constable. 20 fr.

Simon (W.). — Manual of Practical Chemistry. 8th ed. In-8°. Baillière. 18 fr. 75.

Smith (A.). — Introduction to General Inorganic Chemistry. In-8°. Bell. 9 fr. 40.

Strutt (Hon. R.-J.). — The Becquerel Rays and the Properties of Radium. 2nd ed. In-8°, 224 p. E. Arnold. 10 fr. 65.

Thomson (J.-J.). — Conduction of Electricity through Gases. 2nd ed. In-8°, VIII-678 p. Cambridge University Press. 20 fr.

Watson (W.). — A Text-Book of Practical Physics. In-8°, 642 p. Longmans. 11 fr. 25.

Wiechmann (F.-G.). — Notes on Electro-Chemistry. In-8°. Spon. 10 fr. 65.

Wilderman (M.). — Galvanic Cells produced by the Action of Light. The Chemical Statics and Dynamics of Reversible and Irreversible Systems under the Influence of Light. In-4°. 8 Plates. Dulau. 4 fr. 40.

Woods (H.). — Æther; A Theory of the Nature of Æther and of its Place in the Universe. In-8°, 112 p. Electrician Co. 5 fr. 65.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Cole Grenville (A.-J.). — Aids in Practical Geology. Illust. 5th ed., revised. In-8°, 448 p. Griffin. 13 fr. 15.

Lovegrove (E.-J.). — Attrition Tests of Road-making Stones. With Petrological Descriptions by *J.-S. Flett* and *J. Allen Howe*. In-4°. St. Bride's Press. 6 fr. 25.

Ries (H.). — Clays, their Occurrence. In-8°. Chapman and Hall. 26 fr. 25.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Bale (M.). — A Handbook for Steam Users. 5th ed., 8th impression. In-8°, 134 p. Longmans. 4 fr. 40.

Dietrich (M.). — The Schulz Steam Turbine for Land and Marine Purposes. In-8°. T. Fisher Unwin. 6 fr. 25.

Innes (C.-H.). — Air Compressors and Blowing Engines. Specially adapted for Engineers. In-8°, 298 p. Simpkin. 5 fr. 65.

Jamieson (A.). — A Text-Book of Applied Mechanics and Mechanical Engineering. Vol. 2. 5th ed. thoroughly revised. In-8°, 834 p. C. Griffin. 15 fr. 65.

—— A Text-Book of Steam and Steam Engines, including Turbine Boilers. 15th ed., revised. In-8°, 842 p. C. Griffin. 13 fr. 15.

—— Elementary Manual on Steam and the Steam Engine. 11th ed., revised and enlarged. In-8°, 370 p. C. Griffin. 4 fr. 40.

Jude (A.). — The Theory of the Steam Turbine. A Treatise on the Principles of Construction of the Steam Turbine. With Historical Notes on its Development. In-8°, 306 p. C. Griffin. 18 fr. 75.

Sothern (J.-W.). — The Marine Steam Turbine. 2nd ed. A Practical Description of the Parsons Marine Turbine as presently constructed, etc. In-8°, 174 p. Whittaker. 7 fr. 50.

Modern Steam Turbines (British and Foreign). Comprising Descriptions of some Typical Systems of Construction, under the Editorship of *A.-R. Liddell*. Vol. 1 : The Schulze Turbine for Land and Marine Purposes, with Special References to its Application to War Vessels, by *M. Dietrich*. 43 Illusts. and Diagrams and 6 Tables. In-8°. Owen. 6 fr. 25.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Blair (A.-A.). — The Chemical Analysis of Iron. A Complete Account of all the Best Known Methods. 6th ed. In-8°, 328 p. Lippincott. 22 fr. 50.
Dawson (J.-E.). — Producer Gas. In-8°, 310 p. Longmans. 13 fr. 15.
Electrician Primers (The) Edit. by *W.-R. Cooper*. Vol 1. Theory. In-8°. Electrician. 4 fr. 40.
—— Vol. 3. Electric Traction, Electric Lighting, and Electric Power. In-8°. Electrician. 7 fr. 50.
Franklyn (W.-S.) and Esty (W.). — The Elements of Electrical Engineering. A Text Book for Technical Schools, etc. Vol. 1. In-8°. Macmillan. 23 fr. 15.
Fynn (V.-A.). — The Classification of Alternate-Current Motors. (Extr. de *The Electrician*.) In-8°, 42 p. Electrician. 3 fr. 75.
Grassman (J.). — The Elements of Chemical Engineering. With a Preface by Sir W. *Ramsay*. Illust. In-8°, 160 p. C. Griffin. 4 fr. 40.
Hobart (H.-M.). — Elementary Principles of Continuous Current Dynamo Design. Illust. In-8°, 30 p. Whittaker. 9 fr. 40.
Lamb (C.-G.). — Alternating Currents. A Text-Book for Students of Engineering. In-8°, 334 p. E. Arnold. 13 fr. 15.
Noble (Sir A.). — Researches on Explosives. Part 4. In-4°, 28 p. av. 10 pl. Dulau. 6 fr. 90.
Norrie (H.-S.). — Experimenting with Induction Coils. Illust. In-8°, 74 p. Spon. 1 fr. 90.
Sandford (P.-G.). — Nitro-Explosives. A Practical Treatise. 2nd ed., revised and enlarged. In-8°, 312 p. Crosby Lockwood and Sons. 13 fr. 15.
Still (A.). — Polyphase Currents. With numerous Diagrams. In-8°, 352 p. Whittaker. 7 fr. 50.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Brough (B.-H.). — A Treatise on Mine Surveying. 12th ed., revised. In-8°, 388 p. C. Griffin. 9 fr. 40.
Cockin (T.-H.). — An Elementary Class Book of Practical Coal Mining. 2nd ed., revised. In-8°, 440 p. Lockwood. 5 fr. 65.
Cox (S.-H.). — Prospecting for Minerals. A Practical Handbook. 4th ed., revised. In-8°, 252 p. C. Griffin. 6 fr. 25.

GLOVER (W.). — First Lessons in Coal Mining. For use in Primary Schools. In-8°, 105 p. Crosby Lockwood and Sons. 1 fr. 25.

Home Office. — Metalliferous Mines Regulation Act, 1872. Ore Mines in North Wales. Special Rules. 0 fr. 35.

JEVONS (W.-S.). — The Coal Question. An Inquiry concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines. Edit. by *A.-W. Flux*. 3rd ed., revised. In-8°, 520 p. Macmillan. 12 fr. 50.

Parliamentary. — Coal Industry Abroad. Extracts from Reports of H. M. Consuls for 1904 and 1905. 1 fr. 60.

—— Coal. Prices of Exported Coal since the Imposition of the Coal Duty in 1901. 0 fr. 65.

—— Mines and Quarries. General Report and Statistics for 1905. Part 1. Dictrict Statistics. 0 fr. 75.

—— —— General Report and Statistics for 1905. Part 2. Labour, Persons Employed and Accidents. 1 fr. 05.

—— —— General Report for 1905. Part 3. Output. 1 fr. 90.

—— —— Courrières Colliery Disaster. Report on the Disaster which occurred at the Courrières Mine, Pas-de-Calais, France, on March 10, 1906. With Diagrams and Photographs. 2 fr.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

BROCKWAY (W.-B.). — Electric Railway. Accounting. In-8°. Spon. 6 fr. 90.

DAWSON (P.). — The « Engineering » and Electric Traction Pocket Book. 4th ed., revised and rewritten. In-12. Engineering. 25 fr.

DIACOMIDIS (J.-D.). — Statistical Tables of the Working of Railways in Various Countries up to the Year 1904. 2nd ed. In-4°. Spon. 20 fr.

Parliamentary. — Railway Accidents. Returns for October to December, 1905. Part 2. Reports on Accidents. 1 fr. 25.

—— —— Returns and Reports for January to March, 1906. 4 fr. 10.

Report of the Electric Railway Test Commission to the President of Louisiana Purchase Exposition. In-8°. Spon. 31 fr. 25.

8° *Objets divers.*

BENJAMIN (C.-H.). — Modern American Machine Tools. Illusts. In-8°. 340 p. Constable. 22 fr. 50.

HICKS (J.-A.). — The Laboratory Book of Mineral Oil Testing. With Introduction by *Sir B. Redwood*. In-8°, 88 p. C. Griffin. 3 fr. 15.

REDWOOD (Sir B.). — Petroleum. A Treatise. 2nd ed., thoroughly revised and enlarged. 2 vols. In-8°, 560-508 p. C. Griffin. 56 fr. 25.
THOMSON (J.-H.) and REDWOOD (Sir B.). — Handbook on Petroleum. 2nd ed., revised. In-8°, 344 p. C. Griffin. 10 fr. 65.
Tables of Properties of Copper Wire for the Principal Ganges in use in Different Countries. Whittaker. 1 fr. 25.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

COLLES (G.-W.). — Mica and the Mica Industry. In-8° av. 36 pl. New-York, The Engineering and Mining Journal. 10 fr. 65.
INGALLS (W.-R.). — Lead Smelting and Refining; with some Notes on Lead Mining. In-8°, VII-327 p. av. 51 fig. New-York, The Engineering and Mining Journal.
—— Notes on Metallurgical Mill Construction. In-8°. New-York, The Engineering and Mining Journal. 2 fr. 50.
MERRILL (G.-P.). — Contributions to the History of American Geology (*U. S. National Museum Report*). In-8°, 541 p. Wesley. 13 fr. 15.
The Mineral Industry, its Statistics, Technology and Trade during 1905. Vol. XIV. In-8°, XIX-739 p. av. fig. New-York, The Engineering and Mining Journal.
TINNEY (W.-H.). — Gold Mining and Machinery. In-8°. New-York, The Engineering and Mining Journal. 27 fr. 50.
United States Geological Survey. — Geology and Mineral Resources of part of the Cumberland Gap Coal Fields, Kentucky, by *G.-H. Ashley* and *L. Chalmers Glenn*. Washington, Government Printing Office.
—— The Geography and Geology of Alaska. A Summary of Existing Knowledge by *A.-H. Brooks*, with a Section on Climate by *Cleveland Abbe*, Jun., and a Topographic Map and Description Thereof by *R.-U. Goode*. Washington, Government Printing Office.
—— The Tertiary and Quaternary Pectens of California, by *R. Arnold*. In-4°, 264 p. Washington. Government Printing Office.
—— Bulletin No. 269. Corundum and its Occurrence and Distribution in the United States. By *J.-H. Pratt*. With Maps and Illusts. In-8°, 175 p. Washington, Government Printing Office.

United States Geological Survey. — Professional Papers. No 48. Reports on the Operations of the Coal-Testing Plant at the Louisiana Purchase Exposition, St. Louis, Mo., 1904. 3 parts. Part 1, Field Work, Classification of Coals, Chemical Work. Part 2, Boiler Tests. Part 3, Producer Gas Coking, Briquetting, and Washing Tests. Illust. In-4°. Washington, Government Printing Office.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Bohlin (K.). — Zur Theorie der algebraischen Gleichungen. (Extr. des *Arkiv f. matematik, astronomi och fysik.*) In-8°, 55 p. Upsal. 1 fr. 90.

Burkhardt (H.). — Funktionentheoretische Vorlesungen. 2. Bd. Elliptische Funktionen. 2., durchgeseh. u. verb. Aufl. In-8°, xvi-374 p. av. fig. Leipzig, Veit u. Co. 12 fr. 50.

Czuber (E.). — Vorlesungen üb. Differential- u. Integralrechnung. II. (Schluss-) Bd. 2., sorgfältig durchgeseh. Aufl. In-8°, viii-532 p. av. 87 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 15 fr.

Durège (H.). — Elemente der Theorie der Funktionen e. komplexen veränderlichen Grösse. In 5. Aufl. neu bearb. v. *L. Maurer.* In-8°, x-398 p. av. 41 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 11 fr. 25.

Ebner (F.). — Leitfaden der technisch wichtigen Kurven. In-8°, viii-197 p. av. 93 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 5 fr.

Eggenberger (J.). — Beiträge zur Darstellung des Bernoullischen Theorems der Gammafunktion u. des Laplaceschen Integrals. 2. Aufl. In-8°, 79 p. Iéna, G. Fischer. 4 fr. 15.

Frobenius (G.). — Über das Trägheitsgesetz der quadratischen Formen. II. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 7 p. Berlin, G. Reimer. 0 fr. 65.

Fuchs (L.). — Gesammelte mathematische Werke. Hrsg. v. *R. Fuchs* u. *L. Schlesinger.* 2. Bd. : Abhandlungen (1875-1887). Red. v. *L. Schlesinger.* In-8°, x-487 p. Berlin, Mayer u. Müller. 37 fr. 50.

Gruner (P.). — Tabellen f. die Exponentialfunktion m. negativen Exponentus $y = e^{-x}$. (Extr. du *Jahrb. d. Radioaktivität u. Elektronik.*) In-8°, 15 p. Leipzig, S. Hirzel. 1 fr. 25.

GULDBERG (A.). — Ueber vollständig reduzible lineare homogene Differenzengleichungen. (Extr. des *Archiv for Mathematik og Naturvidenskab.*) In-8°, 9 p. Christiania, A. Cammermeyer. 1 fr. 20.

HAAS (A.). — Lehrbuch üb. den binomischen u. polynomischen Lehrsatz, die arithmetischen Reihen höherer Ordnung u. die unendlichen Reihen. In-8°, VII-370 p. Bremerhaven, L. v. Vangerow. 10 fr.

HASENÖHRL (F.). — Zur Ableitung des mathematischen Ausdruckes des zweiten Hauptsatzes. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 4 p. av. fig. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 35.

KOENIGSBERGER (L.). — Über die Grundlagen der Mechanik. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 15. p. Berlin, G. Reimer. 0 fr. 65.

KOERBER (F.). — Transformator f. sphärische Coordinaten. In-8°, Berlin, D. Reimer. 1 fr. 90.

KLEIN (F.). — Über lineare Differentialgleichungen der 2. Ordnung. Vorlesung. Ausgearb. v. *E. Ritter.* Neuer, unveränd. Abdr. In-8°, IV p. et 524 p. autogr. av. fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 10 fr. 65.

KOZAK (J.). — Grundprobleme der Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. 1. Bd. In-8°, XV-263 p. av. 10 fig. Vienne, C. Fromme. 13 fr. 75.

LAMPA (A.). — Über e. Reibungsversuch. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 10 p. av. 2 fig. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 50.

LANDAU (E.). — Über den Zusammenhang einiger neuerer Sätze der analytischen Zahlentheorie. (Extr. du même recueil.) In-8°, 43 p. Vienne, A. Hölder. 1 fr. 50.

LEON (A.). — Proseminar-Aufgaben aus der Elastizitätstheorie. In-8°, 65 p. av. 12 fig. Vienne, C. Fromme. 3 fr. 40.

—— Spannungen u. Formänderungen e. um e. ihrer Durchmesser gleichmässig sich drehenden Kreisscheibe. In-8°, 33 p. av. 5 fig. Vienne, C. Fromme. 1 fr. 70.

—— Über das elastische Gleichgewicht e. Hohlkugel, beziehungsweise e. Hohlzylinders, wenn auf die äussere u. innere Oberfläche e. gleichmässiger Druck p_a, beziehungsweise p_i wirksam ist, unter Berücksicht. v. Gliedern in den Spannungen, die bezüglich der Deformationselemente v. 2. Ordnung sind. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 28 p. Vienne, A. Hölder. 1 fr.

LESCHANOWSKY (H.). — Gemeinverständliche erste Einführung in die höhere Mathematik u. deren Anwendung. In-8°, VIII-85 p. av. 34 fig. Vienne, C. Fromme. 3 fr. 15.

Lippmann (A.). — Die absolute Wahrheit der Euclidischen Geometrie. Eine krit. Untersuchg. der Grundlagen der Euclid. Geometrie. Beweise f. die Wahrheit der Axiome u. Postulate, insbesondere die des Parallelenaxioms (V. Postulat Euclids). In-8°, 68 p. av. fig. Leipzig, R. Gerstäcker. 4 fr. 50.

Lüroth (J.). — Über die Extreme e. Funktion v. zwei od. drei veränderlichen Grössen. (Extr. des *Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wiss.*) In-8°, p. 405-413. Münich, G. Franz. 0 fr. 25.

Mertens (F.). — Über komplexe Einheiten. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 4 p. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 25.

Meyer (P.). — Die motorische Kraft. Grundzüge e. Theorie der Bewegg. In-8°, 145 p. av. fig. Berlin, F. Schneider u. Co. 3 fr. 15.

Nielsen (N.). — Theorie des Integrallogarithmus u. verwandter Transzendenten. In-8°, vi-106 p. Leipzig, B.-G. Teubner. 4 fr. 50.

Oettingen (A. v.). — Die perspektivischen Kreisbilder der Kegelschnitte. In-8°, viii-118 p. av. 85 fig. et 4 pl. Leipzig, W. Engelmann. 6 fr. 25.

Otto (F.-A.). — Die polynomischen Lehrsätze. Neues Verfahren zur Berechng. v. Potenzen u. Wurzeln u. zur Bildg. u. Lösg. v. Gleichgn. In-8°, iii-16 p. Essen, F.-A. Otto. 1 fr. 25.

Pringsheim (A.). — Ueber das Additions-Theorem der elliptischen Funktionen. (Extr. des *Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wiss.*) In-8°, p. 415-423. Münich, G. Franz. 0 fr. 25.

Reye (T.). — Die Geometrie der Lage. Vorträge. 2. Abtlg. 4., umgearb. u. verm. Aufl. In-8°, viii-335 p. av. 33 fig. Stuttgart, A. Kröner. 12 fr. 50.

Sachse (J.-J.). — Zur mechanischen Drittelung e. Winkels u. die planimetrische Bestimmung e. Grades der Kreislinie. In-8°, 39 p. av. 2 pl. Heiligenstadt, F.-W. Cordier. 1 fr. 50.

Schottky (F.). — Geometrische Eigenschaften der Thetafunctionen v. drei Veränderlichen. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 17 p. Berlin, G. Reimer. 1 fr. 25.

Schrutka Edler v. Rechtenstamm (L.). — Über die Auflösung linearer Quaternionengleichungen. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 37 p. Vienne, A. Hölder. 1 fr. 45.

Schwartz (J.). — Darstellung der Gravitation genannten Kräfte als Wirkung e. äusseren treibenden Ursache im Gegensatz zu der Annahme e. innerlich wirkenden Prinzips. In-8°, 75 p. av. 1 fig. Strasbourg, J. Singer. 1 fr. 90.

Traub (K.). — Elementare Berechnung der Seiten der regularen Vierunddreissig- u. Siebenzehn-Ecke. In-8°, 23 p. av. 1 pl. Karlsruhe, F. Gutsch. 0 fr. 75.

Voss (A.). — Über diejenigen Flächen, welche durch zwei Scharen v. Kurven konstanter geodätischer Krümmung in infinitesimale Rhomben zerlegt werden. (Extr. des *Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wiss.*) In-8°, p. 247-296. Münich, G. Franz. 1 fr.

Weinbaum (O.). — Die Spiegelung e. unendlichen Ebene in e. zu ihr senkrechten elliptischen Zylinder. In-8°, 50 p. av. 3 pl. Berlin, Mayer u. Müller. 2 fr. 25.

2° *Physique et Chimie.*

Beck (W.). — Die Elektrizität u. ihre Technik. Eine gemeinverständl. Darstellg. der physikal. Grundbegriffe u. der prakt. Anwendg. der Elektrizität. 7. vollständig umgearb. Aufl. 60-70. Taus. 3 Bde. In-8°, ix-1759 p. av. 1259 fig. et 34 pl. Leipzig, E. Wiest Nachf. 56 fr. 25.

Beilstein (F.). — Handbuch der organischen Chemie. 3. Aufl. Ergänzungsbde. Hrsg. v. der deutschen chem. Gesellschaft, red. v. *P. Jacobson.* 4. Ergänzungsbd., entsprechend dem 4. Bde. des Hauptwerkes. In-8°, xvi-1218 p. Hambourg, L. Voss. 42 fr. 75.

—— —— 66-73. (Schluss-) Lfg. v. Ergänzungsbd., enth. Erläutergn. f. den Gebrauch des Werkes u. Register. In-8°, viii-441 p. et 36 p. Hambourg, L. Voss. 18 fr.

Benndorf (H.). — Über die Störung des homogenen elektrischen Feldes durch e. leitendes dreiachsiges Ellipsoid. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 34 p. Vienne, A. Hölder. 1 fr. 20.

Bermbach (W.). — Der elektrische Strom u. seine wichtigsten Anwendungen. Gemeinverständliche Darstellg. 3., umgearb. u. stark verm. Aufl. In-8°, viii-445 p. av. 237 fig. Leipzig, O. Wigand. 15 fr.

Classen (A.). — Handbuch der analytischen Chemie. I. Tl. Handbuch der qualitativen chem. Analyse anorgan. u. organ. Verbindgn. 6. umgearb. verm. Aufl. In-8°, xiii-341 p. av. 1 pl. de spectres color. Stuttgart, F. Enke. 10 fr.

Dennstedt (M.). — Anleitung zur vereinfachten Elementaranalyse f. wissenschaftliche u. technische Zwecke. 2. Aufl. In-8°, 99 p. av. fig. Hambourg, O. Meissner. 3 fr.

Drude (P.). — Lehrbuch der Optik. 2. erweit. Aufl. In-8°, xvi-538 p. av. 110 fig. Leipzig, S. Hirzel. 15 fr.

Erdmann (H.). — Lehrbuch der anorganischen Chemie. 4. Aufl. (9-12. Taus.) In-8°, xxvi-796 p. av. 303 fig., 95 tabl. et 7 pl. color. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 18 fr. 75.

Exner (F. u. E. Haschek. — Über Linienverschiebungen in

den Spektren v. Ca, Sn u. Zn. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 23 p. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 85.

GEITLER (J.-R. v.). — Über die Absorption u. das Strahlungsvermögen der Metalle f. Hertz'sche Wellen. (Extr. du même recueil.) In-8°, 24 p. av. 3 fig. Vienne, A. Hölder. 1 fr.

GLEICHEN (A.). — Über die wichtigsten Fehler des monochromatischen Strahlenganges durch zentrierte Systeme u. die Mittel zu ihrer Hebung. (Extr. de *Der Mechaniker.*) In-8°, 15 p. av. 14 fig. Berlin, Admin. d. Fachzeitschr. Der Mechaniker. 1 fr. 25.

GMELIN u. KRAUT'S Handbuch der anorganischen Chemie. Unter Mitwirkg. hervorrag. Fachgenossen, hrsg. v. *C. Friedheim.* 7. gänzlich umgearb. Aufl. II. Bd. 1. Abtlg. Kalium, Rubidium, Cäsium, Lithium, Natrium. Bearb. v. *F. Ephraim.* In-8°, XXVII-512 p. Heidelberg, C. Winter. 25 fr.

GROTH (P.). — Chemische Krystallographie. (In 4 Tln.) 1. Tl. Elemente. Anorganische Verbindgn. ohne Salzcharakter : Einfache u. complexe Halogenide, Cyanide u. Azide der Metalle, nebst den zugehör. Alkylverbindgn. In-8°, VIII-626 p. av. 389 fig. Leipzig, W. Engelmann. 25 fr.

GRUNMACH (L.). — Experimentelle Bestimmung der Oberflächenspannung v. verflüssigtem Sauerstoff u. verflüssigtem Stickstoff. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 8 p. Berlin, G. Reimer. 0 fr. 65.

Handbuch der anorganischen Chemie. (In 4 Bdn.) Hrsg. v. *R. Abegg.* III. Bd. 1. Abtlg. Die Elemente der 3. Gruppe des period. Systems. In-8°, X-466 p. av. 7 fig. Leipzig, S. Hirzel. 21 fr. 25.

Handwörterbuch d. Chemie. 101-102. Lfg. Braunschweig, Vieweg. 3 fr.

HESS (V.-F.). — Über e. Modifikation der Pulfrich'schen Formel, betr. das Brechungsvermögen v. Mischungen zweier Flüssigkeiten unter Berücksicht. der beim Mischen eintretenden Volumänderung. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 19 p. av. 1 fig. Vienne, A. Hölder. 1 fr.

HERZ (W.). — Die Lehre v. der Reaktionsbeschleunigung durch Fremdstoffe (Katalyse). (Extr. de *Sammlg. chem. u. chemisch-techn. Vorträge.*) In-8°, 42 p. Stuttgart, F. Enke. 1 fr. 50.

HIMSTEDT (F.). — Radioaktivität u. die Konstitution der Materie. Eine akadem. Rede. In-8°, 31 p. Freiburg i B., Speyer u. Kaerner. 1 fr. 15.

HOFF (J.-H. van't) u. (U. BEHN). — Die gegenseitige Verwandlung der Calciummonoborate. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 4 p. Berlin, G. Reimer. 0 fr. 65.

Holborn (L.) u. S. **Valentiner**. — Temperaturmessungen bis 1600° m. dem Stickstoffthermometer u. m. dem Spektralphotometer. (Extr. du même recueil.) In-8°, 7 p. Berlin, G. Reimer. 0 fr. 65.
Jäger (G.). — Über die Gestalt e. schwerelosen flüssigen Leiters der Elektrizität im homogenen elektrostatischen Felde. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°. Vienne, A. Hölder. 1 fr. 10.
Jaumann (G.). — Elektromagnetische Vorgänge in bewegten Medien. (II. Mitteilg.) (Extr. du même recueil.) In-8°, 54 p. Vienne, A. Hölder. 1 fr. 90.
Keindorff (A.). — Die Zustandsgleichung der Dämpfe, Flüssigkeiten u. Gase. In-8°, 61 p. Leipzig, B.-G. Teubner. 2 fr. 50.
Köhler (E.-J.). — Über einige physikalische Eigenschaften des Sandes u. die Methoden zu deren Bestimmung. In-8°, 85 p. av. fig. et 1 pl. Nüremberg. 2 fr. 50.
Kohlrausch (K.-W.). — Über Schwankungen der radioaktiven Umwandlung. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 10 p. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 65.
Küster (F.-W.). — Lehrbuch der allgemeinen, physikalischen u. theoretischen Chemie. Zugleich 7. Aufl. des allgemeinen u. physikal. Teiles v. *Gmelin's* Handbuch der Chemie. (Paraîtra en 12 livraisons.) 1. Lfg. In-8°, p. 1-64 av. fig. Heidelberg, C. Winter. 2 fr.
Laar (J.-J. van). — Sechs Vorträge üb. das thermodynamische Potential u. seine Anwendungen auf chemische u. physikalische Gleichgewichtsprobleme. Eingeleitet durch zwei Vorträge üb. nichtverdünnte Lösgn. u. üb. den osmot. Druck. In-8°, VIII-119 p. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 4 fr. 40.
Le Blanc (M.). — Lehrbuch der Elektrochemie. 4. verm. Aufl. In-8°, VIII-319 p. av. 25 fig. Leipzig, O. Leiner. 7 fr. 50.
Lenard (P.). — Über Kathodenstrahlen. Nobel-Vorlesung. In-8°, 44 p. av. 11 fig. Leipzig, J.-A. Barth. 1 fr. 50.
Lorentz (H.-A.). — Abhandlungen üb. theoretische Physik. (In 2 Bdn.) I. Bd. 1. Lfg. In-8°, 298 p. av. 8 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 12 fr. 50.
—— Versuch e. Theorie der electrischen u. optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. 1. Aufl. In-8°, III-139 p. Leipzig, B.-G. Teubner. 4 fr.
Losanitsch (S.-M.). — Die Grenzen des periodischen Systems der chemischen Elemente. Vortrag. In-8°, 30 p. Belgrade. 1 fr. 25.
Medicus (L.). — Einleitung in die chemische Analyse. 4. Heft. 2. verb. u. verm. Aufl. In-8°, VIII-121 p. av. 29 fig. Tübingen, H. Laupp. 2 fr. 50.
Meitner (L.). — Über einige Folgerungen, die sich aus den Fres-

nel'schen Reflexionsformeln ergeben. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 14 p. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 50.

MEYER (S.) u. E. Ritter v. SCHWEIDLER. — Untersuchungen üb. radioaktive Substanzen. (Extr. du même recueil.) In-8°. VII. Mitteilg., 15 p. av. 4 fig. — IX. Mitteilg., 26 p. av. 9 fig. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 75; 1 fr. 35.

MEYERHOFFER (W.). — Gleichgewichte der Stereomeren. Mit e. Begleitworte v. *J.-H. van't Hoff.* In-8°, IV-71 p. av. 28 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 3 fr.

OSTWALD (W.). — Leitlinien der Chemie. 7 gemeinverständl. Vorträge aus der Geschichte der Chemie. In-8°, v-308 p. Leipzig, Akadem. Verlagsgesellschaft. 8 fr. 25.

PFAUDLER (L.). — Über e. neue Konstruktion e. Leydenerbatterie m. Umschaltungsvorrichtung v. Parallelanordnung auf Kaskadenanordnung. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 2 p. av. 1 pl. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 35.

PRESSER (E.). — Die Radiumforschung in gemeinverständlicher Darstellung. In-8°, 64 p. Magdebourg, R. Zacharias. 1 fr. 90.

RYDBERG (J.-R.). — Elektron der erste Grundstoff. In-8°, 30 p. av. 2 pl. Lund. 1 fr. 25.

SABULKA (J.). — Erklärung der Gravitation, der Molekularkräfte, der Wärme, des Lichtes, der magnetischen u. elektrischen Erscheinungen aus gemeinsamer Ursache auf rein mechanischem, atomistischen Wege. In-8°, 175 p. av. 22 fig. Vienne, C. Fromme. 6 fr. 25.

SCHMIDT (W.). — Atomgewichtsformel $\left(\frac{\pi}{e^{6}}\right)^{\kappa}$ C · a. Atomauflösung u. Bildungswärmen chem. Prozesse. Ein Beitrag zur einheitl. Auffassg. v. Energie u. Materie. In-8°, 45 p. av. 1 tabl. Karlsruhe, C.-F. Müller. 1 fr. 50.

WASSMUTH (A.). — Über die Bestimmung der thermischen Änderungen des Elastizitätsmoduls v. Metallen aus den Temperaturänderungen bei der gleichförmigen Biegung v. Stäben. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 83 p. av. 3 fig. Vienne, A. Hölder. 2 fr. 80.

WEBER (A.). — Theorie der Wechselströme, Vorträge. Bearb. u. hrsg. v. *L. Herrmann.* 2. Aufl. In-8°, IX-64 p. av. fig. Strelitz, Polytechn. Verlag M. Hittenkofer. 6 fr. 90.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

BAMBERG's geologische Wandkarte v. Deutschland u. seinen Nach-

bargebieten. Nach der « Carte géologique internationale de l'Europe » bearb. v. *F. Bamberg*. (Neue Ausg.) 1 : 750.000. 12 Blatt. Berlin, C. Chun. 25 fr.

Bier (F.). — Petrographische Untersuchung v. Gesteinen aus Südarabien. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-4°, 17 p. Vienne, A. Hölder. 2 fr. 25.

Branco (W.). — Die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Paläontologie. (Extr. des *Abhandlg. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 55 p. av. 13 fig. et 4 pl. Berlin, G. Reimer. 6 fr. 25.

Bruhns (W.). — Die nutzbaren Mineralien u. Gebirgsarten im Deutschen Reiche. Auf Grundlage des gleichnam. v. Dechenschen Werkes neu bearb. Unter Mitwirkg. v. *H. Bücking*. Mit e. (farb.) geolog. Karte. In-8°, xix-859 p. Berlin, G. Reimer. 20 fr.

Chelius (C.). — Geologische Übersichts-Karte des Odenwaldes. Nach den Aufnahmen der hess. u. bad. geolog. Landes-Anstalten zusammengestellt u. bearb. 1 : 250.000. 2. Aufl. Giessen, E. Roth. 0 fr. 75.

Credner (H.). — Elemente der Geologie. 10., unveränd. Aufl. In-8°, xviii-802 p. av. 624 fig. Leipzig, W. Engelmann. 18 fr. 75.

Diener (C.). — Beiträge zur Kenntnis der mittel- u. obertriadischen Fauna v. Spiti. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 22 p. av. 1 pl. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 95.

Felix (J.). — Die Leitfossilien aus dem Pflanzen- u. Tierreich in systematischer Anordnung. In-8°, x-240 p. av. 626 fig. Leipzig, Veit u. Co. 7 fr. 50.

Fogy (D.). — Serpentin, Meerschaum u. Gymnit. (6. Mitteilg. üb. die Darstellg. der Kieselsäuren.) (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 14 p. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 65.

Frič (A.). — Geologische Bilder aus der Urzeit Böhmens. 2. Aufl. 6 pl. av. 4 feuilles de texte. Prague, F. Rivnac. 5 fr. 50.

Friedberg (W.). — Das Miozän der Niederung v. Nowy Targ (Neumarkt) in Galizien. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 14 p. av. 2 fig. et 1 carte color. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 90.

Gorjanović-Kramberger (K.). — Geologische Übersichts-Karte des Königr. Kroatien-Slavonien, hrsg. durch die königl. kroatisch-slav.-dalm. Landesregierg., Sektion f. innere Angelegenheiten. 4. Lfg. Zone 23, Col. XV. Ivanic Klostar u. Moslavina. Aufgenommen u. bearb. v. *F. Koch*, 1 : 75.000. Mit Erläutergn. In-8°, 22 p. av. croquis. Agram, L. Hartmann. 7 fr. 50.

Grund (A.). — Die Probleme der Geomorphologie am Rande v. Trockengebieten. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 27 p. Vienne, A. Hölder. 1 fr.

Gugenhan (M.). — Der Stuttgarter Talkessel vom alpinen Eis aus gehöhlt! In-8°, 26 p. av. 6 fig. et 2 pl. Berlin, R. Friedländer u. Sohn. 3 fr.

—— Die Vergletscherung der Erde von Pol zu Pol. In-8°, VIII-200 p. av. 154 fig. Berlin, R. Friedländer u. Sohn. 10 fr.

Handlirsch (A.). — Die fossilen Insekten u. d. Phylogenie d. recenten Formen. 2. u. 3. Lfg. Leipzig, W. Engelmann. Chaque livraison 10 fr.

Helmert (F.-R.). — Die Grösse der Erde. 1. Mittheilg. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 13 p. av. 1 fig. Berlin, G. Reimer. 0 fr. 65.

Hillebrand (S.). — Serpentin u. Heulandit. (4. Mitteilg. üb. die Darstellg. der Kieselsäuren.) (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 25 p. av. 1 fig. Vienne, A. Hölder. 1 fr.

Himmelbauer (A.). — Über Lievrit u. die Datolithgruppe. (5. Mitteilg. üb. die Darstellung der Kieselsäuren.) (Extr. du même recueil.) In-8°, 12 p. Vienne, A. Hölder. 0 fr. 50.

Hintze (C.). — Handbuch d. Mineralogie. 10. Lfg. Leipzig, Veit u. Co. 6 fr. 25.

Hoff (J.-H. van't). — Untersuchung üb. die Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. XLVIII-IL. (Extr. des *Sitzungsber. d. preuss. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 9 p. et 5 p. Berlin, G. Reimer. Chaque fascicule 0 fr. 65.

Karte, geologische, v. Preussen u. benachbarten Bundesstaaten. 1 : 25.000. Hrsg. v. der königl. preuss. geolog. Landesanstalt u. Bergakademie. 131. Lfg. 3 Blatt. Mit Erläutergn. In-8°. Berlin, S. Schropp. Chaque feuille 2 fr. 50.

Kreutz (S.). — Über die Ausbildung der Kristallform bei Calcitzwillingen. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-4°, 68 p. av. 10 fig. et 5 pl. Vienne, A. Hölder. 8 fr. 75.

Linck (G.). — Goethes Verhältnis zur Mineralogie u. Geognosie. Rede. In-8°, 48 p. av. portraits et un fac-sim. de lettre. Iéna, G. Fischer. 2 fr. 50.

Lorenz (T.). — Beiträge zur Geologie u. Palaeontologie v. Ostasien unter besond. Berücksicht. der Prov. Schantung in China. II. Palaeontologischer Tl. (Extr. de la *Ztschr. d. deut. geol. Gesellsch.*) In-8°, p. 67-123 av. 55 fig., 3 pl. et 1 tabl. Marburg. 5 fr. 65.

Martini u. Chemnitz. — Systematisches Conchylien-Cabinet. Neu hrsg. u. vervollständigt v. *H.-C. Küster*, fortgesetzt v. *W. Kobelt*. I. Bd., 12. Abth. In-8°, 211 p. av. 10 pl. Nüremberg, Bauer u. Raspe. 62 fr. 50.

Martini u. Chemnitz. — Systematisches Conchylien-Cabinet. I. Bd., 12. Abth.; 6. Abth. In-8°, 376 p. av. 78 pl. color. Nüremberg, Bauer u. Raspe. 162 fr. 50.
—— —— XI. Bd., 5. Abth. In-8°, 82 p. av. 15 pl. Nüremberg, Bauer u. Raspe. 31 fr. 25.
—— —— 509-513. Lfg. Nüremberg, Bauer u. Raspe. Chaque livraison 11 fr. 25.
—— —— Sect. 170-171. Nüremberg, Bauer u. Raspe. Chaque section 33 fr. 75.
Nathorst (A.-G.). — Bemerkungen üb. *Clathropteris meniscioides* Brongniart u. *Rhizomopteris cruciata* Nathorst. (Extr. des *K. svenska Vetenskapsakad. Handlingar.*) In-4°, 14 p. av. 3 pl. Upsal, Almqvist u. Wiksell. 2 fr. 20.
—— Über *Dictyophyllum* u. *Camptopteris spiralis*. (Extr. du même recueil.) In-4°, 24 p. av. 4 fig. et 7 pl. Upsal, Almqvist u. Wiksell. 4 fr. 40.
Reinhard (M.). — Der Coziagneisszug in den rumänischen Karpathen. Diss. In-8°, 103 p. av. 1 fig. et 3 pl. Bukarest. 3 fr. 75.
Réthly (A.). — Die Erdbeben in Ungarn im J. 1903. (En allemand et en hongrois.) In-8°, 44 p. av. 2 cartes. Budapest, L. Toldi. 1 fr. 25.
Ryba (F.). — Studien üb. das Kounowa'er Horizont im Pilsner Kohlenbecken. (Extr. des *Sitzungsber. d. böhm. Gesellsch. d. Wiss.*) In-8°, 29 p. av. 4 pl. Prague, F. Rivnac. 1 fr. 50.
Sammlung geologischer Führer. XI. Das Berneroberland u. Nachbargebiete, v. *A. Baltzer*. In-8°, xvi-348 p. av. 74 fig. et 1 carte. Berlin, Gebr. Borntraeger. 15 fr. 65.
Sauer (A.). — Petrographische Wandtafeln. Mikroskopische Strukturbilder wicht. Gesteinstypen in 12 Taf. In-8°, 31 p. de texte av. fig. Stuttgart, K.-G. Lutz. 25 fr.
Schaffer (F.-X.). — Geologie v. Wien. II. u. III. Tl. In-8°, vi-242 p. et iii-128 p. av. 1 carte, 17 pl. et 25 fig. Vienne, R. Lechner. 30 fr.
Schöndorf (F.). — Das Genus *Sphaeraster* u. seine Beziehungen zu rezenten Seesternen. (Extr. du *Jahrbb. d. nass. Ver. f. Naturkde.*) In-8°, p. 251-256 av. 3 fig. Wiesbaden, J.-F. Bergmann. 0 fr. 50.
Spezialkarte, geologische, des Königr. Sachsen. 1 : 25.000. Hrsg. vom königl. Finanzministerium. Bearb. unter Leitg. v. *H. Credner*. Blatt 49. Leipzig, W. Engelmann. 2 fr. 50 av. texte explicatif. In-8°, 64 p. et 5 fig. 3 fr. 75.
—— geologische, des Königr. Württemberg. Hrsg. vom königl. württ. statist. Landesamt. 1 : 25.000. Blatt 105. Farbdr. Mit Erläutergn. In-8°, 100 p. Stuttgart, H. Lindemann. 3 fr. 15.

Toula (F.). — Lehrbuch der Geologie. Ein Leitfaden f. Studierende. 2. Aufl. In-8°, xi-492 p. av. 452 fig. dans le texte, 30 pl. et 2 cartes géol. Vienne, A. Hölder. 20 fr.

Walther (J.). — Geologische Heimatskunde v. Thüringen. 3. ergänzte Aufl. In-8°, x-253 p. av. 142 fig. de fossiles, 16 coupes et 1 carte géolog. générale. Iéna, G. Fischer. 4 fr. 40.

Weinschenk (E.). — Grundzüge der Gesteinskunde. I. Tl. : Allgemeine Gesteinskunde als Grundlage der Geologie. 2. umgearb. Aufl. In-8°, viii-228 p. av. 100 fig. et 6 pl. Freiburg i/B., Herder. 6 fr. 75.

—— Über Mineralbestand u. Struktur der kristallinischen Schiefer. (Extr. des *Abhandlg. d. bayer. Akad. d. Wiss.*) In-8°, p. 727-798. Münich, G. Franz. 3 fr.

Weisbach (A.). — Tabellen zur Bestimmung der Mineralien mittels äusserer Kennzeichen. 7 Aufl. Bearb. v. *F. Kolbeck.* In-8°, viii-121 p. Leipzig, A. Felix. 4 fr. 50.

Werveke (L. van). — Erläuterungen zu Blatt Saarbrücken der geologischen Übersichtskarte v. Elsass-Lothringen u. den angrenzenden Gebieten im Massstab 1 : 200.000 u. zu demselben Blatt der tektonischen Karte v. Elsass-Lothringen im Massstab 1 : 200.000. Hrsg. v. der Direktion der geolog. Landes-Untersuchg. v. Elsass-Lothringen. In-8°, 284 p. av. fig. et 2 cartes color. Strasbourg. 3 fr. 75.

Uebersichtskarte, geologische, v. Württemberg u. Baden, dem Elsass, der Pfalz u. den weiterhin angrenzenden Gebieten. Hrsg. v. dem k. württemberg. statist. Landesamt. Auf Grund der geolog. Spezialaufnahmen u. m. Orig.-Beiträgen der geol. Landesanstalten v. Preussen, Bayern, Elsass-Lothringen, Baden, Hessen u. Württemberg bearb. v. *C. Regelmann.* 7. verb. Aufl. der geognost. Uebersichtskarte des Königr. Württemberg. 1 : 600.000. Mit Erläutergn. In-8°, 32 p. Stuttgart, H. Lindemann. 3 fr. 75.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Breslauer (E.). — Der Maschinenbau. 32-42. Lfg. Leipzig, Verlag d. « Maschinenbau ». Chaque livraison 0 fr. 65.

Dampfkessel-Explosionen, die, während des J. 1905. Bearb. im kaiserl. statist. Amt. Extr. des *Vierteljahrshefte z. Statistik d. Deutschen Reichs.* In-4°, 15 p. av. fig. et 2 pl. Berlin, Puttkammer u. Mühlbrecht. 1 fr. 25.

Gelpke (V.). — Turbinen u. Turbinenanlagen. In-8°, VII-181 p. av. 52 fig. et 31 pl. Berlin, J. Springer. 18 fr. 75.
Grove (O. v.). — Konstruktionslehre der einfachen Maschinenteile. In-8°, x p. et p. 337-557 av. 300 fig. et 28 pl. Leipzig, S. Hirzel. 12 fr. 50.
Haeder (H.). — Der kranke Gasmotor. Handbuch f. Aufstellg., Betrieb, Wartg., Untersuchg. u. Reparatur der Verbrennungsmotoren. In-8°, VIII-231 p. av. 430 fig. Düsseldorf, L. Schwann. 5 fr. 75.
—— Die Gasmotoren. Handbuch f. Entwurf, Bau u. Betrieb der Verbrennungsmotoren. II. Tl. (In 5-6 Lfgn.) 1 Lfg. In-8°, III p. et p. 1-32 av. fig. et 20 pl. Düsseldorf, L. Schwann. 2 fr. 50.
—— Die Dampfmaschinen unter hauptsächlichster Berücksicht. kompletter Dampfanlagen sowie marktfähiger Maschinen. Für Praxis u. Schule bearb. 8., verm. Aufl. 1. Bd. : Berechnung u. Details. Etwa 2.100 fig., 296 Tab. u. zahlreiche Beispiele. In-8°, XVI-767 p. Duisburg. 15 fr. 65.
Hartmann (K.) u. J.-O. Knoke. — Die Pumpen. Berechnung u. Ausführg. der f. die Förderg. v. Flüssigkeiten gebräuchl. Maschinen. 3., neu bearb. Aufl. v. *H. Berg*. In-8°, XII-636 p. av. 704 fig. et 14 pl. Berlin, J. Springer. 22 fr. 50.
Herrmann (G.). — Die graphische Theorie der Turbinen u. Kreiselpumpen. 3. Aufl. In-8°, VII-213 p. av. 58 fig. et 7 pl. Berlin. L. Simion. 10 fr.
Kobes (K.). — Der Druck auf den Spurzapfen der Reaktionsturbinen u. Kreiselpumpen. Studien. In-8°, VII-174 p. av. 68 fig. Vienne, F. Deuticke. 7 fr. 50.
Langen (F.). — Was haben wir v. der Gasturbine zu erwarten? (Umschlag : Die Aussichten der Gasturbine. Eine eingeh. Studie vom Standpunkt des Turbinenpraktikers.) In-8°, 58 p. Rostock, C.-J.-E. Volckmann. 1 fr. 25.
Lorenz (H.). — Neue Theorie u. Berechnung der Kreiselräder. Wasser- u. Dampfturbinen, Schleuderpumpen u. Gebläse, Turbokompressoren, Schraubengebläse u. Schiffspropeller. In-8°, XV-144 p. av. 67 fig. Münich, R. Oldenbourg. 10 fr.
Mees (G.). — Über Regelungsverfahren f. Explosionskraftmaschinen. (Extr. de *Die Gasmotorentechnik*.) In-4°, 15 p. av. 26 fig. Berlin, Boll u. Pickardt. 1 fr. 90.
Michenfelder (C.). — Neuere Transport- u. Hebevorrichtungen. In-8°, VIII-59 p., 87 p. et Atlas de 200 fig. Leipzig, H.-A.-L. Degener. 11 fr. 25.
Neumann (F.). — Die Windkraftmaschinen. Beschreibung, Kons-

truktion u. Berechng. der Windmühlen, Windturbinen u. Windräder zum Betriebe v. Mahlgängen, Holzsägen u. landwirtschaftl. Maschinen, zur Ent- u. Bewässerg. mittels Pumpen, Schnecken od. Wurfräder. 3., vollständig umgearb. Aufl. Hrsg. v. *M. Conrad*. In-8°, vi-174 p. av. 208 fig. Leipzig, B.-F. Voigt. 8 fr. 45.

—— Die Zentrifugalpumpen m. besond. Berücksicht. der Schaufelschnitte. In-8°, viii-197 p. av. 135 fig. et 7 pl. Berlin, J. Springer. 10 fr.

Pfarr (A.). — Die Turbinen f. Wasserkraftbetrieb. Ihre Theorie u. Konstruktion. In-8°, xii-821 p. av. 496 fig. et Atlas de 46 pl. et iv p. de texte. Berlin, J. Springer. En 2 vol. 45 fr.

Pintsch (J.). — Widerstandsfähigkeit verschiedener Metalle gegen die Einwirkung der Verbrennungsgase v. Gasmotoren. Nach den Ermittelgn. der Abteilg. f. Sauggasanlagen der Firma Julius Pintsch in Berlin-Fürstenwalde. (Extr. de *Die Gasmotorentechnik.*) In-8°, 4 p. av. fig. Berlin, Boll u. Pickardt. 0 fr. 65.

Rosenthal (H.), M. Müller u. R. Bayer. — Neuere Schiffsmaschinen. Hilfsmaschinen u. Apparate nebst den wichtigsten Klein-Schiffsmotoren u. Dampfturbinen. Für Schule u. Praxis. In-8°, viii p. av. Atlas de 53 pl. Berlin, K.-W. Mecklenburg. 25 fr.

Seemann (A.). — Die Müllerschen Schieberdiagramme f. Steuerungen ortfester Dampfmaschinen. 2., umgearb. Aufl. In-8°, viii-192 p. av. 121 fig. et 7 pl. Münich, T. Ackermann. 10 fr.

Seufert (F.). — Anleitung zur Durchführung v. Versuchen an Dampfmaschinen u. Dampfkesseln. Zugleich Hilfsbuch f. den Unterricht in Maschinenlaboratorien techn. Schulen. In-8°, iv-63 p. av. 36 fig. Berlin, J. Springer. 2 fr.

Stephan (P.). — Die technische Mechanik. Elementares Lehrbuch 2. Tl. Festigkeitslehre u. Mechanik der flüss. u. gasförm. Korper. In-8°, viii-332 p. av. 200 fig. Leipzig, B.-G. Teubner. 8 fr. 75.

Uhland's Handbuch f. den praktischen Maschinen-Konstrukteur. 2., vollständig neu bearb. Aufl. Hrsg. v. *A. Holzt* u. *P. Wittsack*. (In 5 Bdn. v. je 2 Tln.) III. Bd. 2. Tl. I. u. II. Abt. In-8°, viii-144 p. av. 224 fig. et 3 pl. Berlin, W. u. S. Loewenthal. 11 fr. 25.

Wegner (R.). — Eine praktisch-brauchbare Gasturbine! Versuch e. Lösg. des Gasturbinen-Problems m. e. vollständig durchkonstruierten Beispiel. In-8°, 32 p. av. 6 fig. Rostock, C.-J.-E. Volckmann. 1 fr. 25.

Weitzel (K.-G.). — Die Schule des Maschinentechnikers. Lehrbuch zum Selbstunterrichte im Maschinenbau u. den dazu gehör.

Hilfswissenschaften. Begründet v. W. 3. völlig neue Bearbeitg., hrsg. v. *A. Holzt.* I. Bd. In-8°, x-272 p. Leipzig, M. Schäfer. 5 fr. 65.

Weitzel (K.-G.). — Die Schule des Maschinentechnikers. 3. Bearbeitg. 34-39. Heft. Leipzig, M. Schäfer. Chaque livraison 0 fr. 65.

Zeuner (G.). — Technische Thermodynamik. 3. Aufl. Zugleich 5. vollständig neu bearb. Aufl. der *Grundzüge der mechan. Wärmetheorie*. Bd. II. In-8°, viii-462 p. et xxix p. av. 52 fig. Leipzig, A. Felix. 18 fr.

Zimmermann (H.). — Die Knickfestigkeit e. Stabes m. elastischer Querstützung. In-8°, v-44 p. av. 3 fig., 1 pl. et plusieurs tableaux. Berlin, W. Ernst u. Sohn. 2 fr. 50.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Arnold (E.). — Die Gleichstrommaschine. Ihre Theorie, Untersuchg., Konstruktion, Berechng. u. Arbeitsweise. (In 2 Bdn.) 1. Bd. Theorie u. Untersuchg. 2., vollständig umgearb. Aufl. In-8°, xvi-816 p. av. 593 fig. Berlin, J. Springer. 25 fr.

Arnold (E.) u. J.-L. **La Cour**. — Die Kommutation bei Gleichstrom- u. Wechselstrom-Kommutatormaschinen. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vorträge.*) In-8°, 78 p. av. 58 fig. Stuttgart, F. Enke. 3 fr.

Benedicks (C.). — Über das Gleichgewicht u. die Erstarrungsstrukturen des Systems Eisen-Kohlenstoff. (Extr. de *Metallurgie.*) In-8°, 33 p. av. 5 fig. et 31 reprod. phot. Halle, W. Knapp. 3 fr. 75.

Doelter (C.). — Die Silikatschmelzen. (4. Mitteilg.) (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*) In-8°, 33 p. av. 6 fig. et 2 pl. Vienne, A. Hölder. 2 fr. 40.

—— Die Untersuchungsmethoden bei Silikatschmelzen. (Extr. du même recueil.) In-8°, 32 p. av. 6 fig. Vienne, A. Hölder. 1 fr. 35.

Goerens (P.). — Einführung in die Metallographie. In-8°, v-185 p. av. fig. Halle, W. Knapp. 12 fr. 50.

Handbuch der chemischen Technologie. Bearb. u. hrsg. v. *B.-A. Bolley* u. *K. Birnbaum*. Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt v. *E. Engler*. Neue Folge. 13-15. Lfg. In-8°, xi-99 p. av. 146 fig.; xvii-279 p. av. 18 fig.; xiv-214 p. av. 96 fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 7 fr. 50; 12 fr. 50; 12 fr. 50.

Hildebrandt (H.). — Lehrbuch der Metallhüttenkunde. In-8°, xvi-531 p. av. 333 fig. Hannover, M. Jänecke. 16 fr. 25.

Induktions-Regulatoren f. Ein- u. Mehrphasen-Hochspannungs-Anlagen. System Brown Boveri et Cie. In-8°, 16 p. av. fig. Baden. 1 fr.

Jüptner (H. v.). — Lehrbuch der chemischen Technologie der Energien. II. Bd. Die chem. Technologie der mechan. Energie. Explosivstoffe u. Verbrennungsmotoren. In-8°, v-190 p. av. 51 fig. Vienne, F. Deuticke. 6 fr. 25.

Kalmann (W.). — Kurze Anleitung zur chemischen Untersuchung v. Rohstoffen u. Produkten der landwirtschaftlichen Gewerbe u. der Fettindustrie. 2. Aufl. In-8°, ix-153 p. av. 3 fig. Vienne, F. Deuticke. 5 fr.

Langbein (G.). — Handbuch der elektrolytischen (galvanischen) Metallniederschläge (Galvanostegie u. Galvanoplastik) m. Berücksicht. der Kontaktgalvanisierungen, Eintauschverfahren, des Färbens der Metalle, sowie der Schleif- u. Poliermethoden. 6., verm. Aufl. In-8°, xvi-595 p. av. 160 fig. Leipzig, J. Klinkhardt. 11 fr. 25.

Ledebur (A.). — Handbuch der Eisenhüttenkunde. Für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzg. beim Unterrichte bearb. 5., neu bearb. Aufl. 1. Abtlg. Einführung in die Eisenhüttenkunde. In-8°, vii-408 p. av. fig. Leipzig, A. Felix. 15 fr. 50.

Lexikon der Elektrizität u. Elektrotechnik. Unter Mitwirkg. v. Fachgenossen hrsg. u. red. v. *F. Hoppe*. 16-20. (Schluss-) Lfg. In-8°, vi p. et p. 721-960 av. 747 fig. Vienne, Hartleben. Chaque livraison 0 fr. 65.

Mayr (F.). — Das Bessemern v. Kupfersteinen. In-8°, 40 p. av. 3 pl. Freiberg, Craz u. Gerlach. 3 fr. 75.

Reiser (F.). — Das Härten des Stahles in Theorie u. Praxis. 4., verm. Aufl. In-8°, viii-159 p. av. 28 fig. Leipzig, A. Felix. 5 fr.

Roth (A.). — Elektrische Maschinen u. Verkehrsmaschinen, ihr Werden u. Wesen. 2. Aufl. In-8°, v-416 p. av. fig. Berlin, A. Schall. 6 fr. 25.

Schwarze (A.). — Hüttenwerks-Maschinerien m. elektrischem Antrieb. 1. Heft: Warmsägen. In-8°, 34 p. av. 12 pl. Dortmund, F.-W. Ruhfus. 6 fr. 25.

Stahl (E.). — Metallgiesserei. Hilfsmittel, Arbeitsverfahren, Erzeugnisse u. Kalkulationsregeln. Aus der Praxis dargestellt In-8°, iv-170 p. av. 86 fig. et 15 tabl. Freiberg, Craz u. Gerlach. 6 fr. 25.

Streintz (F.). — Das Akkumulatorproblem. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vorträge.*) In-8°, 34 p. av. 6 fig. Stuttgart, F. Enke. 1 fr. 50.

Thompson (S.-P.). — Dynamoelektr. Maschinen. 7. Aufl. 2. u. 3. Lfg. Halle, Knapp. Chaque livraison 2 fr. 50.

Vieth (A.). — Eisengiesserei. Schmelzerei, Giesserei u. Putzerei.

Beschreibung der wichtigsten Schmelzöfen, Gebläse, Giesserei- u. Putzereigerätschaften u. Maschinen. In-8°, 157 p. av. 98 fig. Bremen, G. Winter. 3 fr. 15.

Wedding (H.). — Grundriss der Eisenhüttenkunde. 5. umgearb. Aufl. In-8°, xii-392 p. av. 205 fig. et 2 pl. Berlin, W. Ernst u. Sohn. 11 fr. 25.

Weigel (R.). — Handbuch der Starkstromtechnik. I. Bd. Konstruktion u. Berechng. elektr. Maschinen u. Apparate. Erläutert durch Beispiele. 9-12. (Schluss-) Lfg. In-4°, iv p. et p. 161-267 av. 5 pl. Leipzig, Hachmeister u. Thal. Chaque livraison 1 fr. 60. L'ouvrage complet 18 fr. 75.

Zeemann (A.). — Einführung in die Elekrotechnik. 7 Experimentalvorträge. In-8°, viii-168 p. av. 117 fig. Vienne, A. Hartleben. 3 fr. 40.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Balling (C.). — Die Schätzung v. Bergbauen u. Eisenbahnschutzpfeilern nebst e. Skizze üb. die Einwirkg. des Verbruches unterird. durch den Bergbau geschaffener Hohlräume auf die Erdoberfläche. Im Anh.: üb. die erforderl. Schutzpfeilerbreite bei der etagenbaumäss. Auskohlg. u. üb. die Zulässigkeit der Auskohlg. v. Eisenbahn-Schutzpfeilern im nordwestböhm. Braunkohlenbecken. Erweiterte 2. Aufl. In-8°, 164 p. av. 3 pl. Teplitz-Schönau, A. Becker. 8 fr. 75.

Becker's Uebersichtskarte des nordwestböhm. Braunkohlenbeckens. 1 : 144.000. Mit e. Gruben-Verzeichnis u. e. Tabelle üb. die Produktion, Transport u. Wertverhältnisse böhm. Braunkohle von 1861-1905. In-8°, 14 p. Teplitz-Schönau, A. Becker. 1 fr. 25.

Büeler de Florin (H.). — Schweizer Erz-Bergbau. Ueber die Bedeutg. der Fortschritte im Berg- u. Hüttenwesen f. die schweizer. Erzlagerstätten. (Extr. de *Der Erz-Bergbau.*) In-8°, 62 p. Frankfurt a. M., J.-F. Meissner. 1 fr. 25.

Buschman (J.-O. Frhr. v.). — Das Salz, dessen Vorkommen u. Verwertung in sämtlichen Staaten der Erde. II. Bd. In-8°, xvi-506 p. Leipzig, W. Engelmann. 22 fr. 50.

Freise (F.). — Stratameter u. Bohrlochsneigungsmesser. In-8°, 71 p. av. 4 pl. Aix-la-Chapelle. 3 fr. 75.

Gehring (L.). — Das Berchtesgadner Salzbergwerk. Seine Geschichte, Anlage, Einrichtgn. u. sein Betrieb. 2., verb. u. verm. Aufl. In-8°, 38 p. av. 1 pl. Berchtesgaden, K. Ermisch. 0 fr. 65.

Mellin (R.). — Der Steinkohlenbergbau des Preussischen Staates in der Umgebung von Saarbrücken. III. Tl. In-8°, 336 p. av. 53 fig. et 14 pl. Berlin, J. Springer.

Meyer (J.). — Zur Theorie der Abschmelzsicherungen. In-8°, iv-103 p. av. 26 fig. Münich, R. Oldenbourg. 3 fr. 75.

Ryba (G.). — Die elektrischen Signalvorrichtungen der Bergwerke. In-8°, x-168 p. av. 203 fig. Brüx, A. Kunz. 5 fr. 90.

Selbach (K.). — Illustriertes Handlexikon des Bergwesens. Abth. I, II. In-8°, 160 p. av. 274 fig. Leipzig, C. Scholtze. (L'ouvrage comprendra environ 8 fascicules.) Chaque fascicule 3 fr. 75.

Stelzner (A.-W.). — Die Erzlagerstätten. Unter Zugrundelegg. der hinterlassenen Vorlesungsmanuskripte u. Aufzeichngn. bearb. v. *A. Bergeat*. II. Hälfte. 2. Abtlg. In-8°, xi p. et p. 813-1330 av. 89 fig. et 2 pl. Leipzig, A. Felix. 22 fr. 50.

Teiwes (K.). — Bremsen an Fördermaschinen. (Extr. de *Kohle u. Erz*.) In-8°, 34 p. av. fig. Kattowitz, G. Siwinna. 1 fr. 25.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Berthold (M.). — Die Verwaltungspraxis bei Elektrizitätswerken u. elektrischen Strassen- u. Kleinbahnen. In-8°, vii-184 p. av. formulaires. Berlin, J. Springer. 10 fr.

Garbe (R.). — Die Dampflokomotiven der Gegenwart. Betrachtungen üb. den Bau u. Betrieb, unter Berücksicht. der Erfahrgn. an den m. Schmidtschen Überhitzereinrichtgn. gebauten Heissdampflokomotiven der preuss. Staatseisenbahnverwaltg. Ein Handbuch f. Lokomotivbauer, Eisenbahnbetriebsbeamte u. Studierende des Maschinenbaufaches. In-8°, xvi-500 p. av. 388 fig. et 24 pl. Berlin, J. Springer. 30 fr.

Gollmer (E.). — Die Blocksicherungs-Einrichtungen auf den preussischen Staatsbahnen. (Extr. de *Der Mechaniker*.) In-8°, 27 p. av. 26 fig. Berlin, Admin. d. Fachzeitschr. Der Mechaniker. 2 fr. 50.

Kohlfürst (L.). — Neues auf dem Gebiete der elektrisch selbsttätigen Zugdeckung. (Extr. de *Sammlg. elektrotechn. Vorträge*.) In-8°, 116 p. av. 60 fig. Stuttgart, F. Enke. 3 fr.

Scheibner (S.). — Die mechanischen Sicherheitsstellwerke im Betriebe der vereinigten preussisch-hessischen Staatseisenbahnen. 2. Bd. In-8°, ix-405 p. av. 217 fig. Berlin, Polytechn. Buchh. A. Seydel. 9 fr. 75.

Sicherheitsvorschriften f. elektrische Strassenbahnen u. strassenbahnähnliche Kleinbahnen. Hrsg. vom Verband deutscher

Elektrotechniker, eingetragener Verein. Festgesetzt nach den Beschlüssen der Jahresversammlg. zu Stuttgart vom 24-27. V. 1906. Gültig vom 1. X. 1906 ab. In-8°, 32 p. Berlin, J. Springer. 0 fr. 65.

STEINER (F.). — Beitrag zur Theorie der Röhrentunnels kreisförmigen Querschnittes. (Extr. de l'*Öst. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst.*) In-8°, III-40 p. av. 12 fig. Prague, J.-G. Calve. 1 fr. 50.

8° *Économie politique et sociale.*

GRAMBOW (L.). — Die Beschäftigungs- u. Lohn-Verhältnisse der Arbeitnehmer in den Hanauer Edelmetall- u. Edelstein-Industrien im J. 1905. Für den Hanauer Kunstgewerbeverein dargestellt. In-8°, 68 p. et 44 p. de tableaux. Hanau, Clauss u. Feddersen. 2 fr. 50.

JÜNGST. — Arbeitslohn u. Unternehmergewinn im rheinischwestfälischen Steinkohlenbergbau. (Extr. du *Glückauf.*) In-4°, 34 p. av. diagr. Essen-Ruhr. Ver. f. d. bergbaul. Interessen.

Wohlfahrtseinrichtungen der bayerischen Staatseisenbahnen. Bearb. im k. b. Staatsministerium f. Verkehrsangelegenheiten. In-8°, VI-112 p. Münich. 0 fr. 95.

9° *Objets divers.*

BERTHOLD (A.). — Probenahme u. Untersuchung von Koks, Kohlen u. Briketts. Pet. in-8°, 63 p. av. 13 fig. Essen-Ruhr, G.-D. Baedeker. 2 fr. 50.

CARO (N.). — Die Explosionsursachen v. Acetylen. Von dem Verein zur Beförderg. des Gewerbfleisses gekrönte Preisarbeit. (Extr. des *Verhandlg. d. Ver. z. Beförderg. des Gewerbfleisses.*) In-8°, 79 p. Berlin, L. Simion. 3 fr. 75.

DOMINIK (H.). — Das Wernerwerk v. Siemens u. Halske A.-G., Berlin-Nonnendamm. In-8°, 202 p. av. fig. Berlin, J. Springer. 12 fr. 50.

GUTMANN (J.). — Über den amerikanischen Stahltrust. Mit Berücksichtigung d. deutschen Stahlwerksverbands. In-8°, VIII-160 p. Essen, G.-D. Baedeker. 3 fr. 75.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften in 5 Tln. 1. Tl. Vorarbeiten, Erd-, Grund-, Strassen- u. Tunnelbau. Hrsg. von *L. v. Willmann.* 3. Bd. 4. verm. Aufl. In-8°, XVI-406 p. et VI p. av. 304 fig. et 14 pl. Leipzig, W. Engelmann. 15 fr.

HEUSINGER v. WALDEGG (E.). — Die Ton-, Kalk-, Cement- u. Gips-Industrie. Ein Hand- u. Hilfsbuch f. Fabrikanten u. Techniker. 3. Tl. 2. gänzlich umgearb. Aufl., bearb. v. *A. Moye*. In-8°, x-439 p. av. 210 fig. Leipzig, Th. Thomas. 20 fr.

RAKUSIN (M.-A.). — Die Untersuchung des Erdöles u. seiner Produkte. Eine Anleitg. zur Expertise des Erdöles, seiner Produkte u. der Erdölbehälter. In-8°, XVIII-271 p. av. 59 fig. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn. 15 fr.

Statistik des böhmischen Braunkohlenverkehrs im J. 1905. 37. Jahrg. Hrsg. v. der Direktion der Aussig-Teplitzer Eisenbahn-Gesellschaft. In-8°, LXVII-100 p. av. 3 pl. color. Teplitz-Schönau, A. Becker. 2 fr. 50.

Unfallverhütungsvorschriften, die, der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie. Anh.: Bekanntmachungen betr.: 1. Anlagen zur Herstellg. v. Alkalichromaten; 2. Anlagen zur Herstellg. v. Bleifarben u. anderen Bleiprodukten; 3. Anlagen zur Vulkanisierg. v. Gummiwaren; 4. Anlagen, in denen Thomasschlacke gemahlen od. Thomasschlackenmehl gelagert wird. 4. Aufl. In-8°, 268 p. Berlin, C. Heymann. 1 fr. 50.

Untersuchungen üb. die Entlöhnungsmethoden in der deutschen Eisen- u. Maschinenindustrie. Hrsg. im Namen des Centralvereins f. das Wohl der arbeit. Klassen v. dessen Kommission. 3. Heft. In-8°, v-133 p. Berlin, L. Simion. 4 fr. 50.

OUVRAGES SUISSES.

Gletschergarten, der, in Luzern. Seine Entstehg. u. Entwickelg. In-8°, 43 p. av. fig. Lucerne, E. Haag. 1 fr. 25.

HEDINGER (O.). — Beitrag zur Kenntnis der schweizerischen Eisenproduktion. (Extr. de la *Ztschr. f. schweiz. Statistik*.) In-8°, III-101 p. Berne. 3 fr. 75.

KILCHMANN (C.). — Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg. (Extr. de la *Schweiz. Bauzeitg.*) In-4°, 36 p. av. fig. Zürich, Rascher u. Co. 2 fr. 50.

NIETHAMMER (F.). — Turbodynamos u. verwandte Maschinen. In-8°, 147 p. av. 209 fig. et 3 tabl. Zürich, F. Amberger. 10 fr.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Brioschi (F.). — Opere matematiche, pubblicate per cura del comitato per le onoranze a Francesco Brioschi. T. IV. Milan, U. Hoepli. In-4°, VIII-418 p. (4385)

Casazza (G.). — Il più grande errore scientifico del secolo XIX : la supposta indistruttibilità della forza. Milan, P. Carrara. In-8°, 132 p. 1 fr. 50. (5559)

Fattor (L.). — Di un metodo per determinare le regole di divisibilità relative ad un numero primo con 10 : nota. Cividale, tip. fr. Stagni. In-8°, 7 p. (5001)

—— Una regola pratica per avere il periodo di $1/p$ essendo p primo con 10 : nota. Cividale, tip. fr. Stagni. In-8°, 4 p. (5002)

Morale (M.). — Sopra un modo di generare il complesso quadratico di rette. Caltanisetta, tip. P. Castaldi-Pedrantoni. In-8°, 15 p. (3815)

Pucciano (G.). — Indagine sul potenziale logaritmico e newtoniano. Messine, tip. D'Amico. In-8°, 38 p. (5011)

Re (A. del). — Lezioni sulle forme fondamentali dello spazio rigato, sulla dottrina degli immaginarî e sui metodi di rappresentazione nella geometria descrittiva. Naples, L. Alvano. In-8°, iiij-85 p. avec fig. 3 fr. 50. (6158)

Tognelli (G.). — Una applicazione della teoria dei residui di variabile complessa. Livourne, tip. S. Belforte e C. In-8°, 49 p. (5015)

2° *Physique et Chimie.*

Enciclopedia (Nuova) di chimica scientifica, tecnologica e industriale, diretta dal dott. *I. Guareschi*, con la collaborazione di distinti chimici italiani. Disp. 176-177 (fine del vol. V). Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 1161-1200, xxxij. (6704)

Gabba (L.). — Manuale del chimico e dell' industriale : raccolta di tabelle, di dati fisici e chimici e di processi d'analisi tecnica. Quarta edizione ampliata e riveduta. Milan, U. Hoepli. In-16, xvij-533 p. (6222)

Galilei Galileo. — Le opere. Edizione nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il Re d'Italia. Volume XVIII. Florence, tip. Barbèra di Alfani e Venturi. In-4°, 543 p. av. fig. (5003)

Garelli (F.). — L'istituto chimico della libera università di Ferrara dal 1897 al 1906. Ferrare, tip. G. Bresciani. In-8°, 25 p. (6151)

Jadanza (N.). — Teorica dei canocchiali, esposta secondo il metodo di Gauss. Seconda edizione. Turin, E. Loescher. In-8°, xj-282 p. av. planche. (5007)

Lombardi (L.). — Lezioni di fisica tecnica : fondamenti scientifici dell' elettrotecnica. Turin, lit. Salussolia. In-8°, 384-(3) p. (5565)

Mandoli (C.). — Misure e problemi di elettricità. Seconda edizione. Naples, G.-B. Paravia. In-16, xv-312 p. 5 fr. (6153)

Marco (F.). — L'elettricità svelata : contributo all' interpretazione degli enigmi della fisica mediante l' ipotesi degli elettroni vorticosi. Turin, G.-B. Paravia e C. In-8°, viij-229 p. 2 fr. 50. (6709)

Molteni (P.). — Il termo, metallo che sta prima dell' uranio e del radio : studio critico di fisica nuova. Sesto S. Giovanni, tip. A. Barion. In-8°, 74 p. (6710)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Abati (C.). — Causa e probabili effetti geologici della marea. Terni, tip. Decaterinis. In-8°, 14 p. (3806)

Baratta (M.). — L'eruzione del Vesuvio, aprile 1906. Voghera, tip. Riva e Zolla. In-8°, 27 p. (6709)

Genovino (G.). — Lo scartamento fra la superficie della terra supposta fluida e quella dell' ellissoide di rivoluzione avente gli stessi assi. Gênes, tip. della Gioventù. In-8°, 6 p. (5562)

Molinari (F.). — Museo mineralogico Borromeo : note illustrative. Milan, tip. Operai. In-8°, 87 p. av. fig. (6155)

Monti (C.). — Il Vesuvio e le sue eruzioni : conferenza. Turin, tip. Soc. editrice politecnica. In-8°, 31 p. (5009)

Pirro Raff. — Il Vesuvio e le sue eruzioni : storia e spiegazioni. Naples, C. Giordano e C. In-16, 96 p. (6157)

Pullè (C.). — Minerali e rocce dell' isola d'Elba e le loro applicazioni industriali. Livourne, tip. E. Pozzolini. In-8°, 24 p. (4389)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Bussetti Pio Sante. — Modificazione all' azione fisica del vapore

nelle macchine a vapore sistema stantuffo-biella-manovella : descrizione del trovato. Pistoia, tip. A. Ciattini. In-8°, 10 p. av. planche. (4449)

CAMPAZZI (E.-N.). — Dinamometri : apparecchi per le misure delle forze e del lavoro da questi eseguito mentre agiscono lungo determinate trajettorie. Milan, U. Hoepli. In-16, xx-273 p. av. 6 pl. (6763)

GRAZIOLI (V.). — Intorno alle chiodature delle caldaie e dei recipienti sottoposti a pressione. Milan, tip. degli Operai. In-8°, 31 p. av. fig. (Extr. de *l'Industria.*)

JERVIS (T.). — La meccanica nell'industria : elementi di meccanica generale dei corpi solidi. Turin, S. Lattes. In-16, VIII-419 p. av. fig. 4 fr. (4459)

LUCA (F. De). — Elementi di tecnologie meccaniche. Terza edizione. Naples, tip. G. Maggi. In-8°, 318 p. av. fig. 15 fr. (6225)

PANETTI (M.). — Per una convenzione sul modo di definire i limiti di elasticità e di proporzionalità, nonchè il carico di snervamento : proposta. Bologne, tip. Zamorani e Albertazzi. In-8°, 3 p. (5080)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

BORGHINI (N.). — Parafulmini perfezionati : modificazioni scientifico-pratiche sulla loro costruzione e collocazione. Quinta edizione. Arezzo, tip. E. Sinatti. In-16, 63 p. av. fig. (4447)

BUSACHI (A.). — Forno a combustione di carbone pel trattamento dei minerali solfiferi. Turin, tip. Società editrice politecnica. In-8°, 16 p. av. planche. (5069)

MAGRINI (G.-P.). — Elettromotori campioni e metodi di misura delle forze elettromotrici. Milan, U. Hoepli. In-16, xxiiij-185 p. av. fig. (6772)

MARCHI (G.). — Manuale pratico per l'operaio elettrotecnico. Seconda edizione. Milan, U. Hoepli. In-16, XIX-410 p. av. fig. (4463)

SPIREK (V.). — La metallurgia del mercurio (VI Congresso internazionale di chimica applicata). Turin, tip. G.-U. Cassone, succ. G. Candeletti. In-8°, 26 p. av. 6 pl. (5083)

VEROI (G.). — Condotta delle machine e delle centrali elettriche. Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, 288 p. av. 30 pl. 7 fr. (5654)

Veroi (G). — Elementi di elettrotecnica. Disp. 21-22 (1-2 del vol. II). Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 1-16, xliij. 1 fr. 20 la livraison. (3881)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Bonariva (A.). — Le perforazioni del suolo per la ricerca d'acque salienti e per esplorazioni minerarie. Quarta edizione ampliata. Bologne, L. Beltrami. In-4°, 66 p. av. 10 pl. (6761)

Ditmar (N.-F. von). — Bacino carbonifero del Donetz all'Esposizione internazionale di Milano 1906. Traduzione di *S. Grosser*. Milan, Soc. ed. di annuari. In-8°, 14 p. (6827)

Rivista del servizio minerario nel 1905 (Ministero di agricoltura, industria e commercio : direzione generale dell'agricoltura). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero e C. In-8°, 18-clxxxviij-478 p. av. 2 pl. 5 fr. (5705)

Scotti (L.). — Giacimenti cupriferi delle ferriere, provincia di Piacenza. Piacenza, tip. cooperativa. In-4°, 39 p. (4392)

Zavadsky (A.). — Description géognostique du gisement de pyrolusite dans le domaine de Sulitzko-Lunanskoye (Nicopol, Gouvernement d'Ekaterinoslaw, Russie). Turin, impr. J.-U. Cassonne, succ. J. Candeletti. In-8°, 26 p. av. planche. (6781)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Biadego (G.-B.). — I grandi trafori alpini ed altre gallerie eseguite a perforazione meccanica. Milan, U. Hoepli. 2 vol. In-8°, xv-1228-viiij p. av. 30 pl. 45 fr. (5634)

Bonanni (C.). — Note sulla resistenza dei materiali. Gênes, tip. Barigalupi. In-4°, 62 p. av. planche. (4446)

Bouvert (L.). — Valvola automatica di avviamento per locomotiva sistema *compound* : memoria. Rome, tip. del *Genio civile*. In-4°, 5 p. av. fig. (5635)

Commissione per la unità tecnica delle strade ferrate : atti della sesta adunanza (r. Ispettorato generale delle strade ferrate). Rome, tip. Unione cooperativa editrice. In-4°, 130 p. (6767)

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie : norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 220. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4°, p. 1-24 av. fig. et 6 pl. (6769)

Disposizioni speciali sulla costruzione e sull' esercizio delle strade ferrate : legge 30 giugno 1906, n° 272. Milan, Soc. editrice libraria. In-16, 13 p. 0 fr. 10. (6218)

Emilio (R. d'). — Sul treno automobile a voltata esatta, sistema Novaretti. Pavie, tip. succ. Marelli. In-8°, 6 p. av. planche. (4453)

Fiorini (A.). — Sistema di blocco ferroviario automatico e a mano. Rome, tip. del *Genio civile*. In-4°, 12 p. av. 3 pl. (5073)

Levi (E.). — Apparecchio automatico Levi di spostamento per locomotive sistema *compound* : memoria. Rome, tip. del *Genio civile*. In-4°, 7 p. av. fig. et planche. (5641)

Lusardi (R.). — Sull' applicazione del freno continuo ai treni delle tramvie a vapore : relazione. Piacenza, tip. V. Porta. In-8°, 15 p. (5642)

Mele (V.). — Sul freno Westinghouse ad azione rapida : memoria. Rome, tip. del *Genio civile*. In-4°, 16 p. av. fig. (5644)

—— Un epuratore per caldaie da locomotive : memoria. Rome, tip. del *Genio civile*. In-4°, 13 p. av. planche. (5645)

Panetti (M.). — Stato attuale dei metodi di prova dei materiali metallici. Bologne, tip. Zamorani e Albertazzi. In-8°, 51 p. av. fig. (4464)

Pera (E.). — Relazione di una serie di esperienze sulle variazioni del coefficiente di aderenza nella galleria succursale dei Giovi. Rome, tip. del *Genio civile*. In-4°, 35 p. av. planche. (5646)

Regolamento di polizia ferroviaria per la trazione elettrica : istruzioni e norme approvate con decreto ministeriale 2 maggio 1906 (Ministero dei lavori pubblici). Rome, tip. Unione cooperativa editrice. In-8°, 16 p. (4467)

Relazione sull' esercizio delle strade ferrate italiane per l'anno 1903 (Ministero dei lavori pubblici : r. Ispettorato generale delle strade ferrate). Rome, tip. Unione cooperativa editrice. In-4°, xxiiii-526 p. (4468)

Relazione sull' esercizio delle tramvie italiane per l'anno 1903 (Ministero dei lavori pubblici : uffizio speciale delle ferrovie). Rome, tip. Unione cooperativa editrice. In-4°, xv-255 p. (3877)

Zara (G.). — Valvola equilibrata di presa vapore con introduzione a tre periodi, per locomotive. Spessori articolati per boccole di locomotive. Florence, tip. G. Civelli. In-8°, 13 p. av. 2 pl. (5085)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Cavallerone (F.). — Questioni sulla legge per la trasmissione a

distanza delle correnti elettriche in rapporto agli enti amministrativi : dissertazione. Turin, tip. V. Bona. In-8°, 38 p. (4917)

Luzzati (A.). — Le leggi 7 giugno 1894 e 29 marzo 1903, e i rapporti fra le imprese esercenti il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica per uso industriale, i privati e i comuni. Milan, tip. G. Abbiati. In-8°, 37 p. (6635)

Mainetti (D.). — Le forze motrici idrauliche ed il loro modo di tassazione : relazione all' Unione delle camere di commercio. Brescia, tip. F. Apollonio. In-4°, 7 p. (6673)

Massari (A.). — Relazione sul progetto di legge del contenzioso ferroviario. Venise, tip. F. Garzia e C. In-8°, 7 p. (4360)

9° *Objets divers.*

Dizionario industriale d'arti e mestieri, compilato da professori e ingegneri delle specialità. Fasc. 91-92 (fine del vol. IV). Milan, F. Vallardi. In-4°, p. 1105-1174 av. fig. (6219)

Gherardi (G.). — Carboni fossili inglesi, coke, agglomerati. Milan, U. Hoepli. In-16, xvj-586 p. av. 5 pl. (6708)

Ginori Conti Piero. — La forza motrice dei soffioni boraciferi della Toscana, sua utilizzazione ed applicazione. Florence, tip. Corrigendi, G. Ramella e C. In-4°, 28 p. av. fig. (4457)

Trattato generale teorico-pratico dell' arte dell' ingegnere civile, industriale ed architetto. Fasc. 122-123. Milan, F. Vallardi. In-8°, p. 1-64. (3880)

Relazione sull'andamento del servizio metrico e del saggio e marchio dei metalli preziosi negli anni 1903 e 1904 (Ministero di agricoltura, industria e commercio : ispettorato generale dell'industria e del commercio). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero e C. In-8°, xviij-224 p. (5143)

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des Mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1906, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — ROYAL SOCIETY OF LONDON. *Londres.*
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — SOCIETA TOSCANA DI SCIENZE NATURALI. *Pise.*
9. — L'Industria. Rivista tecnica ed economica illustrata. *Milan.*
10. — SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOC. D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH-KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — Revue générale de Chimie pure et appliquée. *Paris.*
18. — The Colliery Guardian and Journal of the Coal and Iron Trades. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH. *Édimbourg.*
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Étienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. — The Iron and Steel Magazine. *Boston.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos-Ayres.*
26. — Zeitschrift für Architektur- und Ingenieurwesen. *Hanovre.*
27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*
28. — Berg- und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.

31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. *Berlin.*
33. — Société des Ingénieurs civils. *Paris.*
34. — Bureau Central Météorologique de France. *Paris.*
35. — Boston Society of Natural History. *Boston.*
36. — Société linnéenne de Normandie. *Caen.*
37. — Comité géologique de la Russie. *St-Pétersbourg.*
38. — Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala. *Upsal.*
39. — Königliche Ungarische geologische Anstalt. *Buda-Pest.*
40. — The Journal of the Iron and Steel Institute. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — Literary and Philosophical Society of Manchester.
44. — Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. montanistischen Hochschulen zu Leoben und Przibram. *Vienne.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liège.*
47. — American Institute of Mining Engineers. *New-York.*
48. — Reale Accademia dei Lincei. *Rome.*
49. — American chemical Society. *New-York.*
50. — Academy of natural Sciences of Philadelphia.
51. — Comision del Mapa geologico de España. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*
53. — Bureau of the Mint (Treasury Department). *Washington.*
54. — L'Électricien, Revue internationale de l'électricité et de ses applications. *Paris.*
55. — Giornale del Genio civile. *Rome.*
56. — Le Génie civil. *Paris.*
57. — Revista minera, metalurgica y de ingenieiria. *Madrid.*
58. — Annales de la Société géologique de Belgique. *Liège.*
59. — United States geological Survey. *Washington.*
60. — Institut royal géologique de Suède. *Stockholm.*
61. — Field Columbian Museum. *Chicago.*
62. — Revue de la Législation des mines. *Paris.*
63. — Direction des travaux géologiques du Portugal. *Lisbonne.*
64. — Bulletin du Laboratoire d'Essais mécaniques, physiques, chimiques et de machines du Conservatoire National des Arts et Métiers. *Paris.*

65. K. K. Naturhistorischer Hofmuseum. *Vienne.*
66. — College of Science, Imperial University of Tokyo, Japan. *Tokyo.*
67. — Kais. Leopoldinisch-Carolinische deutsche Akademie der Naturforscher. *Halle-sur-Saale.*
68. — Annales de la Faculté des sciences de Toulouse.
69. — New-York Academy of sciences. *New-York.*
70. — Institution of Mechanical Engineers. *Londres.*
71. — Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz. *Berne.*
72. — Department of Mines of New South Wales. *Sydney.*
73. — Revue générale des sciences pures et appliquées. *Paris.*
74. — The School of Mines Quarterly. *New-York.*
75. — Geological and Natural History Survey of Canada. *Ottawa.*
76. — La Réforme sociale. *Paris.*
77. — Société internationale des Électriciens. *Paris.*
78. — Bulletin of the Geological Society of America. *Rochester (N.-Y.).*
79. — Commission internationale du Congrès des chemins de fer. *Bruxelles.*
80. — Association amicale des élèves de l'École nationale supérieure des mines. *Paris.*
81. — Zeitschrift für praktische Geologie. *Berlin.*
82. — The Journal of Geology, University of Chicago.
83. — Bulletin of the Department of Geology, University of California. *Berkeley.*
84. — Bulletin de l'Association des ingénieurs-électriciens sortis de l'Institut électro-technique Montefiore. *Liège.*
85. — Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. *Bruxelles.*
86. — Les Annales Techniques. *Paris.*
87. — American Museum of Natural History. *New-York.*
88. — Australasian Institute of Mining Engineers. *Melbourne.*
89. — Bulletin technologique de la Société des anciens élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers. *Paris.*
90. — Mémorial du Génie Maritime. *Paris.*
91. — Associazione Elettrotecnica Italiana. *Rome.*
92. — Journal de Chimie physique. *Genève.*
93. — Bulletin of the Bureau of Standards. *Washington.*
94. — Stahl und Eisen, Zeitschrift für das deutsche Eisenhüttenwesen. *Düsseldorf.*
95. — Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen. *Munich.*

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIXIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

EXPLOITATION DES MINES. — GÎTES MINÉRAUX.

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

MÉCANIQUE. — MACHINES.

CHEMINS DE FER.

OBJETS DIVERS.

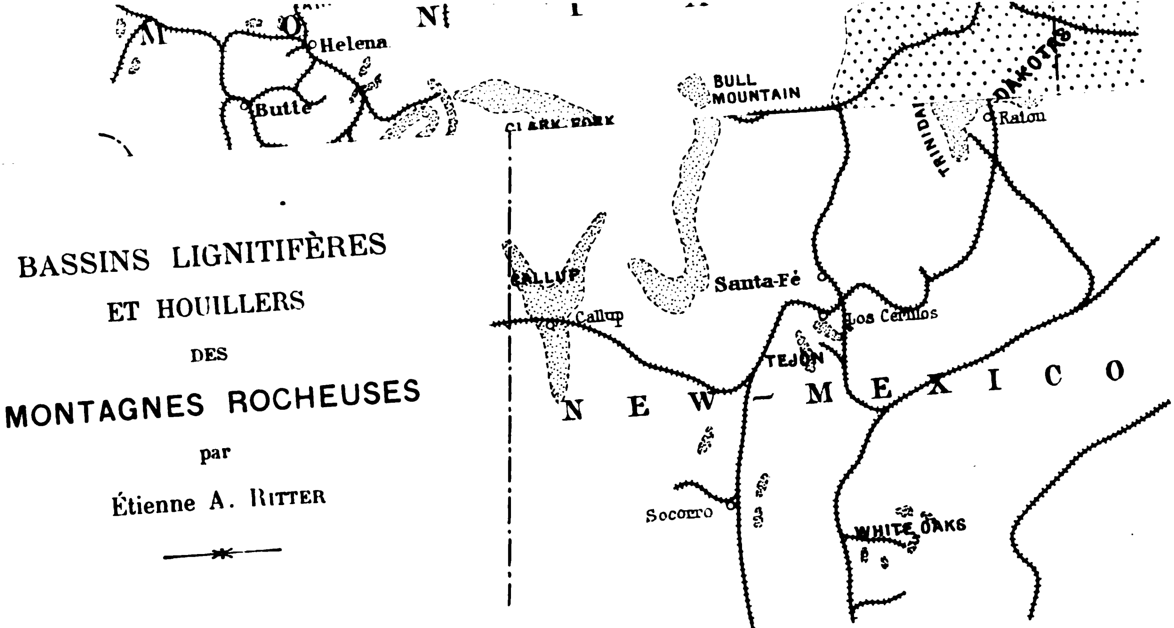
BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIXIÈME.

Pl. I à IV. — Bassins lignitifères et houillers des Montagnes Rocheuses.
Pl. V. — Gîtes aurifères de Madagascar.
Pl. VI à VIII. — Hydrologie souterraine de la Dobroudja Bulgare.
Pl. IX à XVI. — Locomotives des Chemins de fer américains.
Pl. XVII et XVIII. — Étude des ventilateurs centrifuges.
Pl. XIX à XXI. — Les calcaires asphaltiques du Gard.
Pl. XXII à XXIV. — Accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1907.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

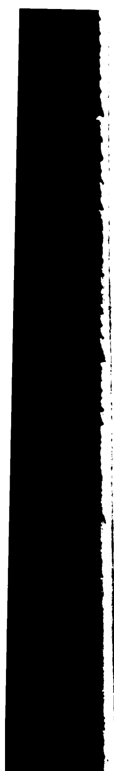


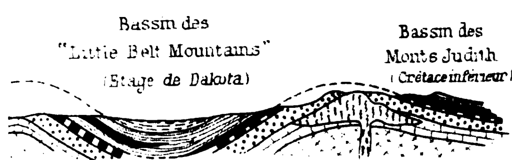
Pl. II.

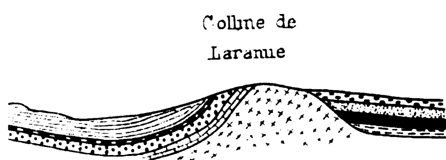


.e. Tome

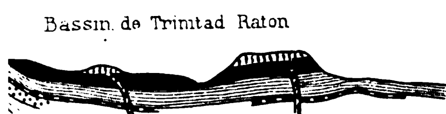
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris





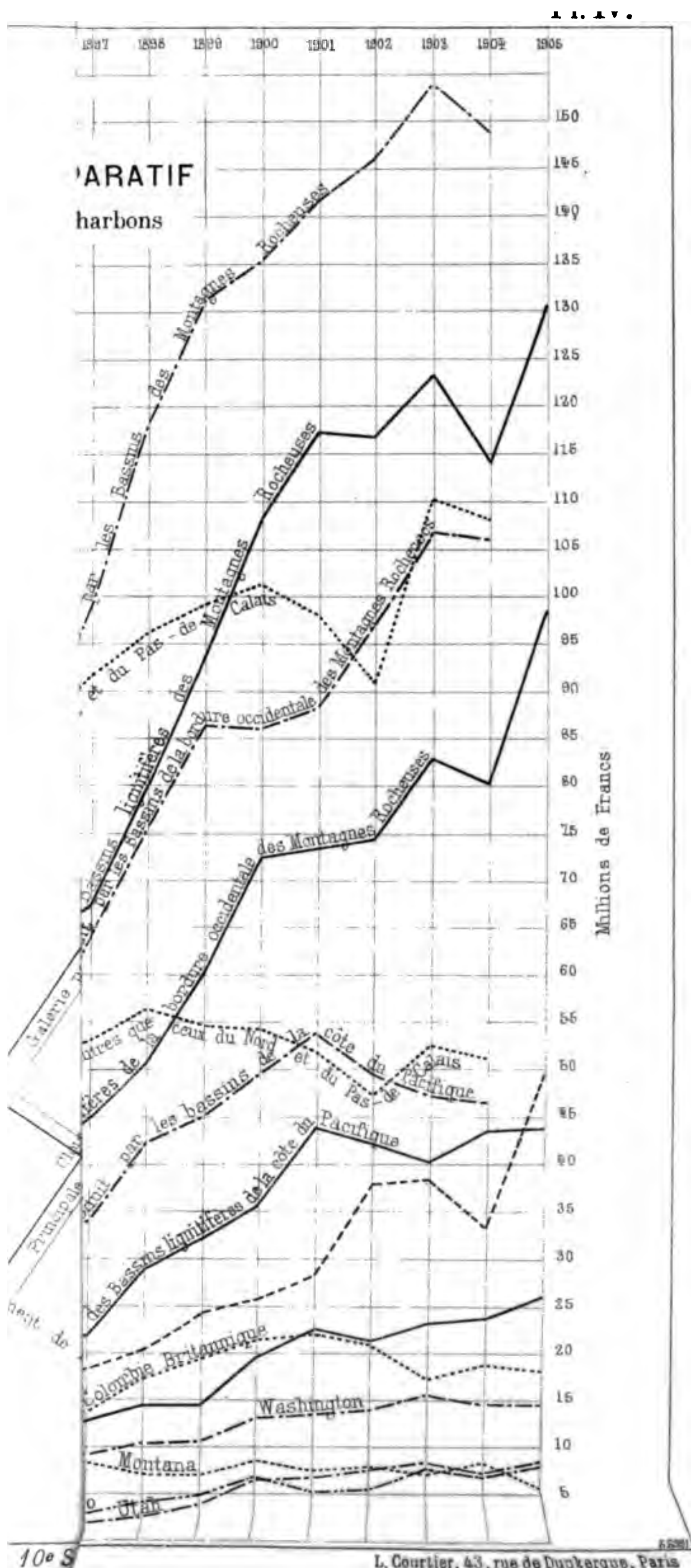






L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

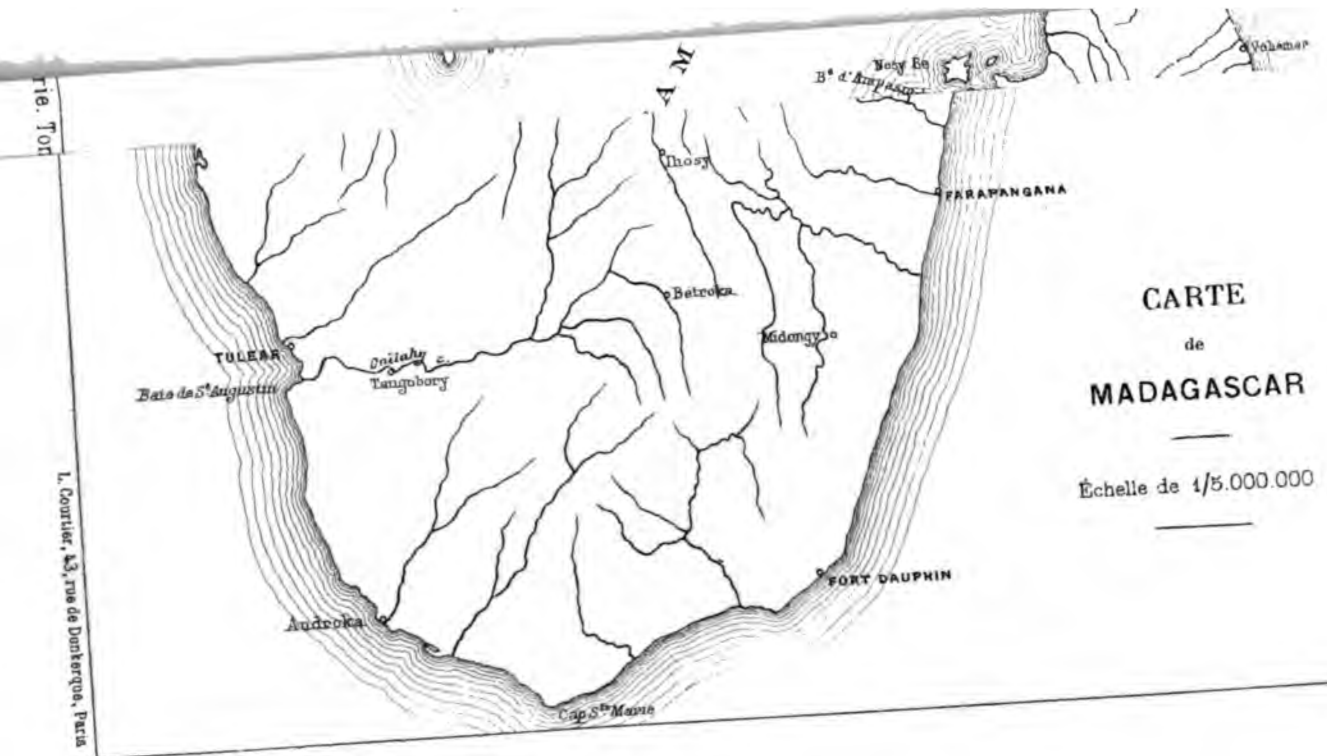




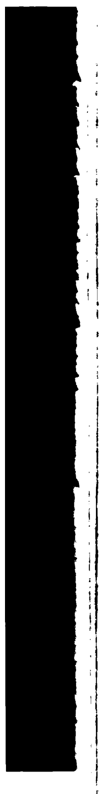
Pl. IV.
'ARATIF
harbons
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
150
145
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
Millions de Francs
par les Bassins des Montagnes Rocheuses
Bassins lignifères des Montagnes Rocheuses
et du Pas-de-Calais
par les Bassins de la bordure occidentale des Montagnes Rocheuses
bordure occidentale des Montagnes Rocheuses
autres que ceux du Nord et du Pas-de-Calais
par les bassins de la côte du Pacifique
des Bassins lignifères de la côte du Pacifique
Galerie
Principale
Colombie Britannique
Washington
Montana
Utah
10e S
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Pl. V


CARTE
de
MADAGASCAR
Échelle de 1/5.000.000
Vohemar
Nosy Be
Bᵉ d'Ampasin...
FARAFANGANA
Ihosy
Betroka
Midongy
TULEAR
Baie de Sᵗ Augustin
Onilahy
Tangobory
Androka
FORT DAUPHIN
Cap Sᵗᵉ Marie
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

rie. Ton



Pl. VI.

A DOBROUDJA BULGARE

2m/m — 1 Kil.)

AY d'après ses itinéraires de 1905

le Service des Mines de Bulgarie

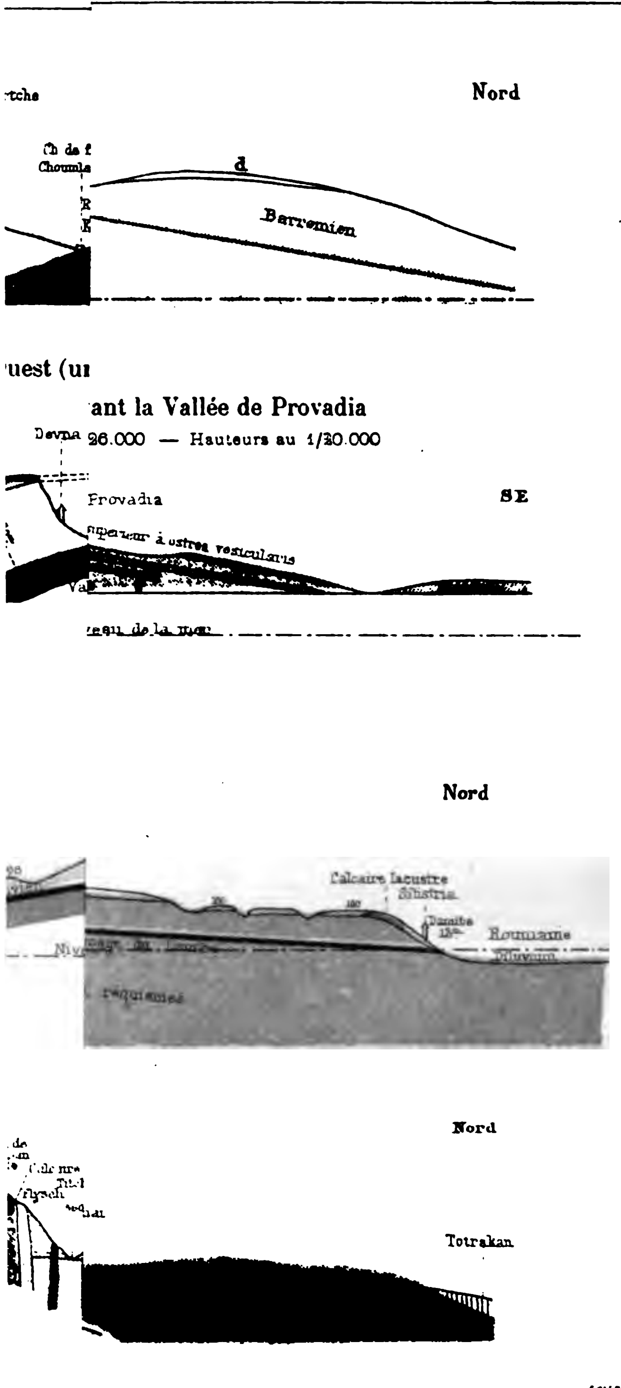
o	Village
+	Sources
●	Puits avec moteur
+++++	Anticlinal
-·—·—	Ligne de coupe

...ocomien moy. (Marnes à ...ermites de Devna) Hauterivien (32)	Lias de Kotel et Berriasien de Dervent. (26 à 20)
...ocomien infr. (Calcaires de ...spitchan) Valanginien. (32)	Andesite.

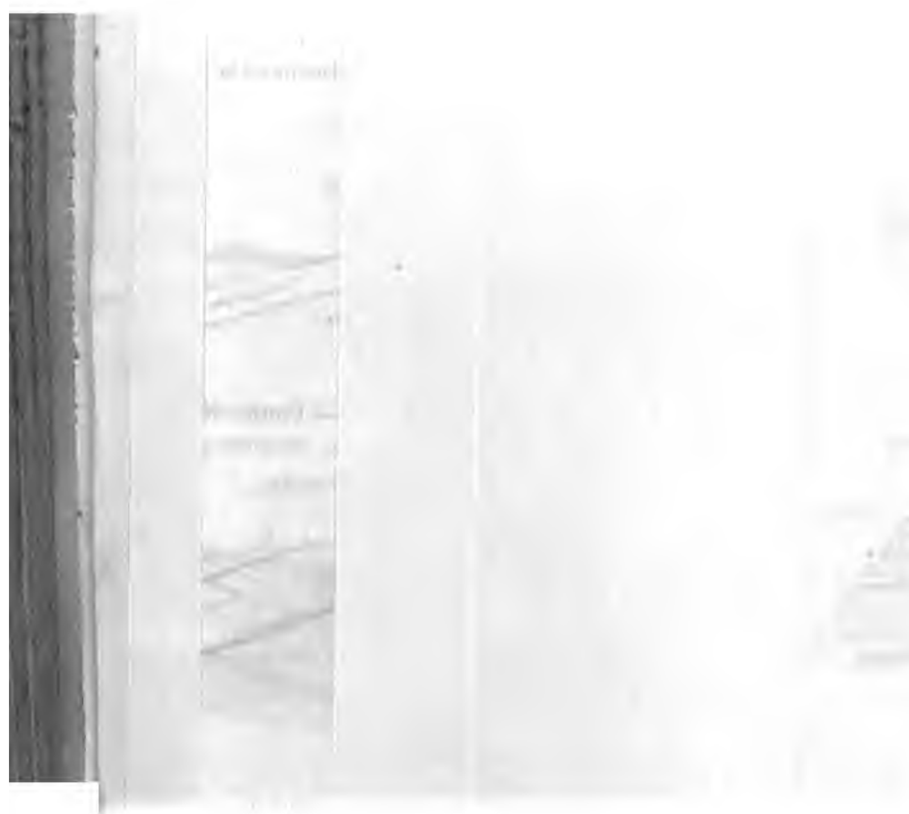
peut appartenir au Valanginien.

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris





L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



au $\frac{1}{378.000}$

:re Balbounar et Totrakan

mètres)

30^K

Danube

Totrakan

Syncl

OBRITCI

Karameh medlere
D - 20
N - 20.12
R. 0.86

Salichère
D - 26.5
N - 29.18
R - 0.88

Messime Mahle
D - 18
N - 6.32

Djaferlare
D - 30
N - 51.50
R - 0.582

Djeferovo
D - 28.5
N - 26.95
R - 0.60

Unouslar
D - 38
N - 82.52
R - 0.45

IL GÉNÉRAL

rise entre Balbounar et Totrakan

Sart Alan Basse
Sart Alan Haute
Kachlakiou et Sart Alan Kaltche
Dremovo
Salichère
Djeferovo
Djeferlare
Unouslar

21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Fig. 4 Demi-plan

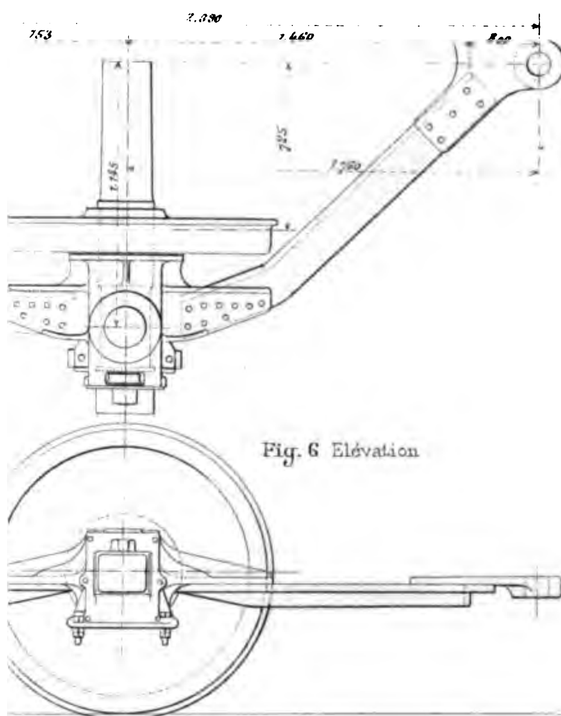
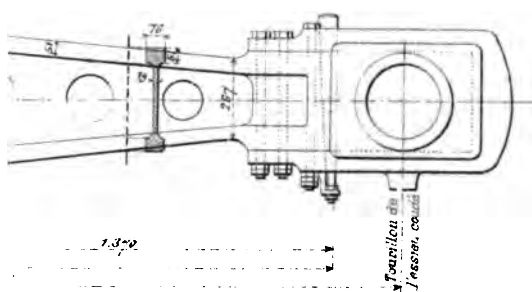


Fig. 6 Elévation

motives Compound équilibrées
hison Topeka and Santa Fé Ry



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

N des locomotives Type Atlantic
Central and Hudson River RR.

Fig. 4. Demi-plan

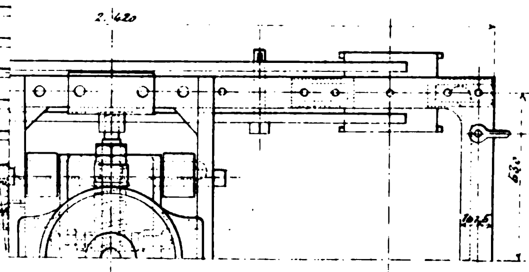
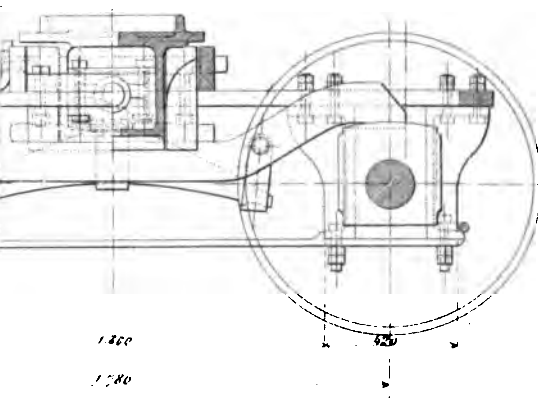
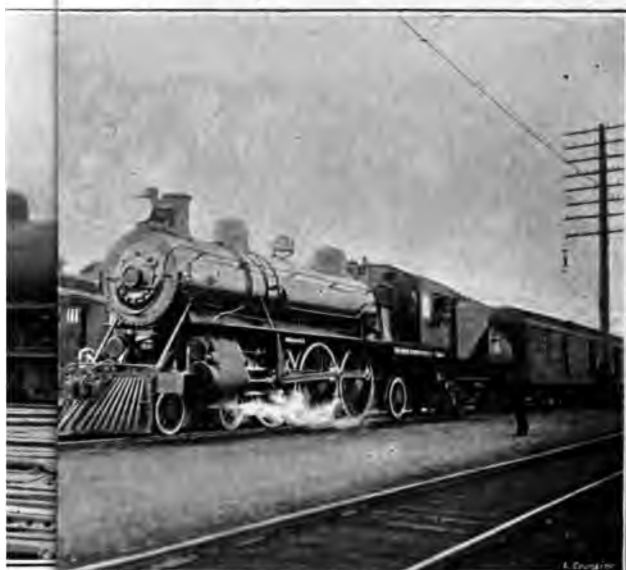


Fig. 6. Elévation



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



sylva G. 3. — Union Pacific. — Type Pacific.



peka ison Topeka and Santa Fé R^{y}. — Type « Santa Fé ».

érie.



Fig. 3 et 4 Foyer avec tubes d'eau des locomotives Consolidation du New York Central and Hudson River Railroad

Fig. 3. Coupe longitudinale

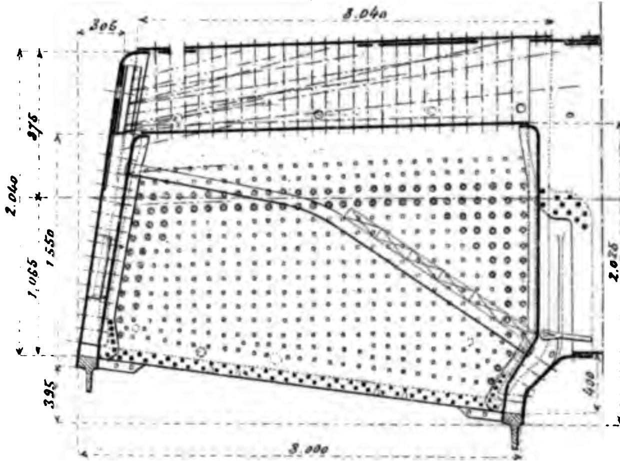
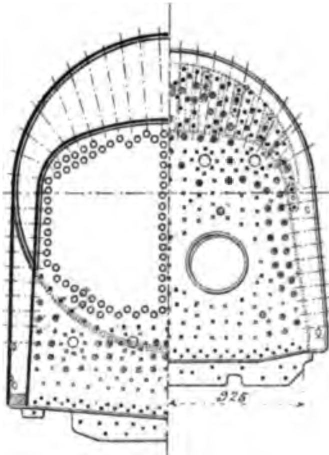
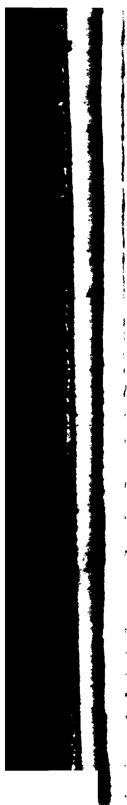


Fig. 4. Demi-coupes transversales



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Figron & Quincy-Railway

Fig. 2 - 1/2 Coupe et 1/2 Vue arrière.

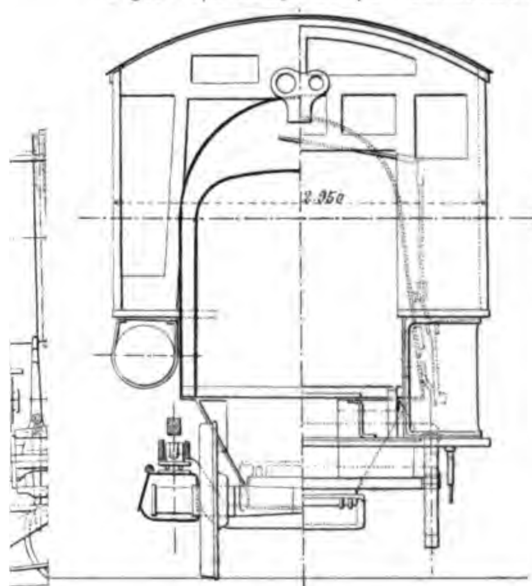
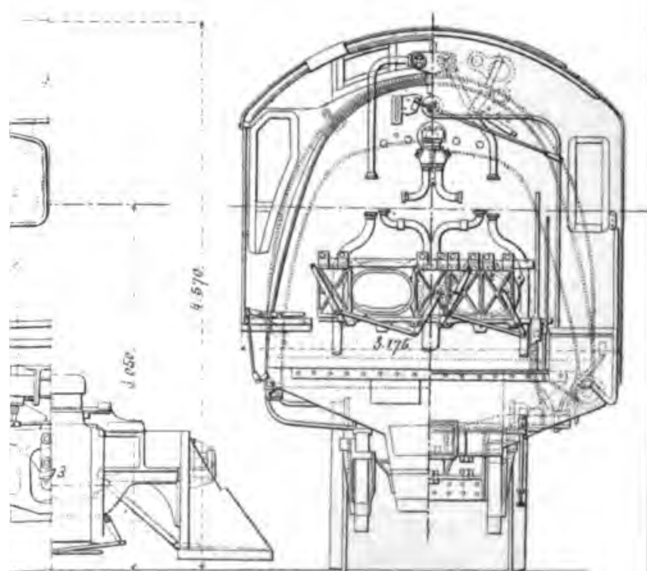


Fig. 4 - Vue arrière



Tom

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Fig. 3 - 1/2 Coupe et 1/2 Vue arrière

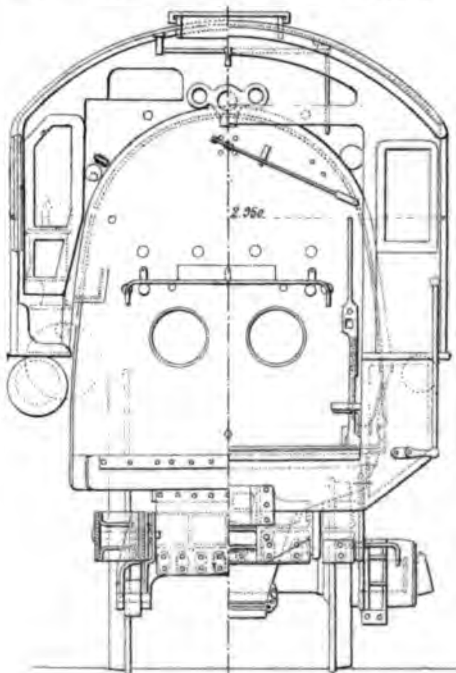
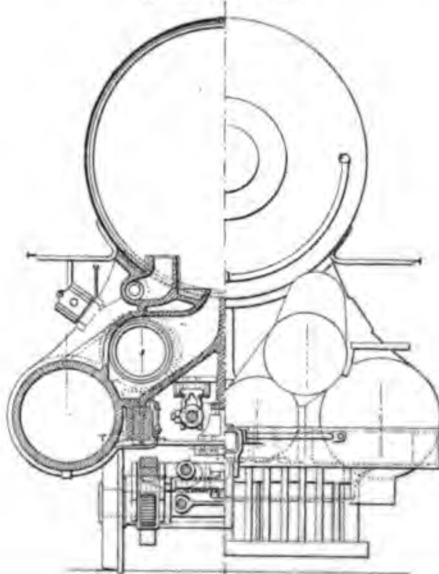


Fig. 4 - 1/2 Coupe sur les cylindres B.P. et 1/2 Vue avant



Série. To

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

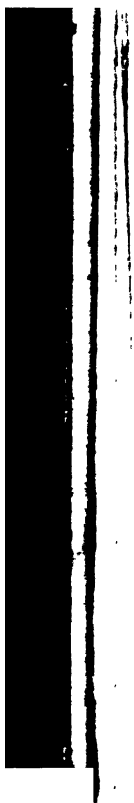


Fig. 2. Vue avant

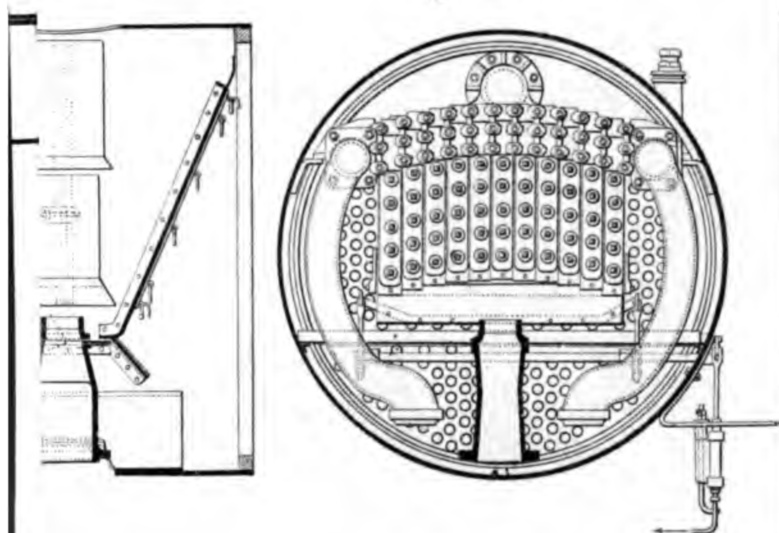
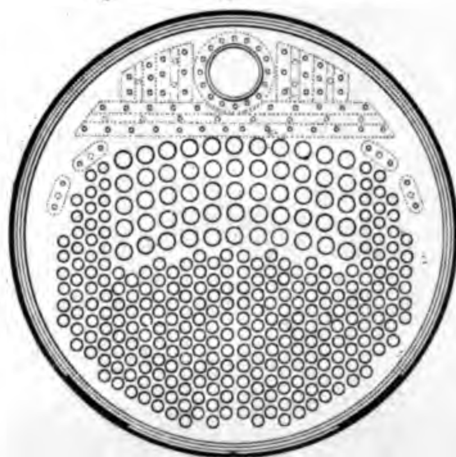


Fig. 5. Plaque tubulaire



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Fig. 3. Collecteur de vapeur saturée

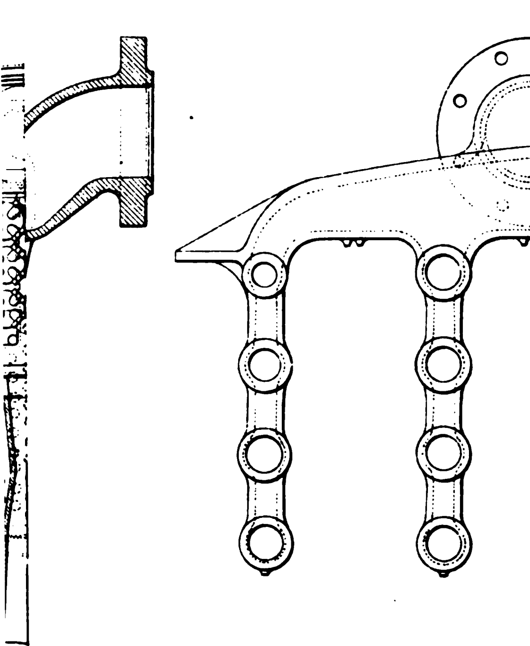
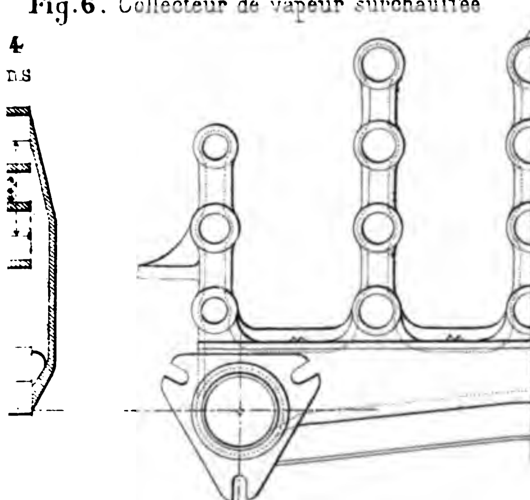


Fig. 6. Collecteur de vapeur surchauffée



L. COURTIER, 43, rue de Dunkerque, Paris

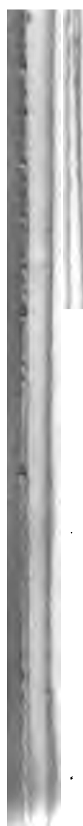


Fig. 5 bis.

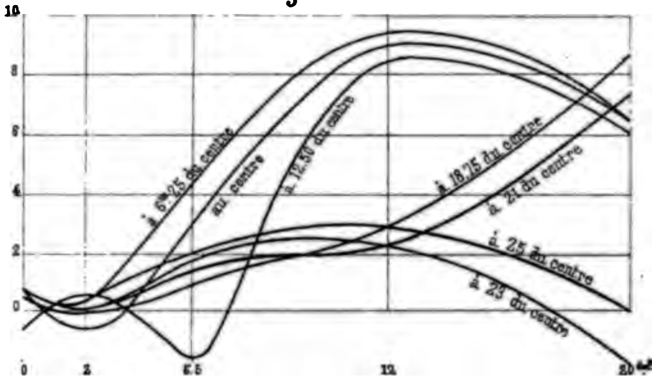
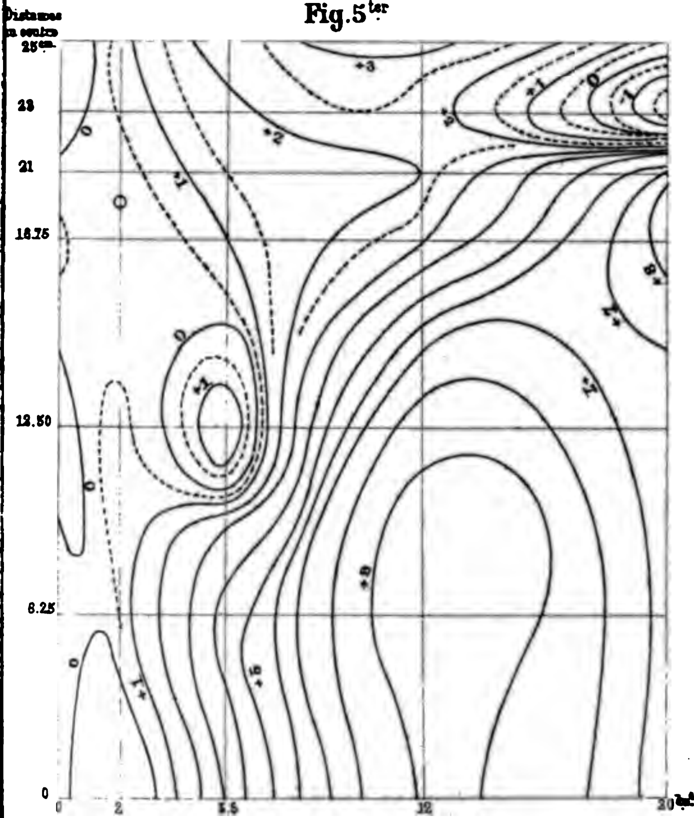
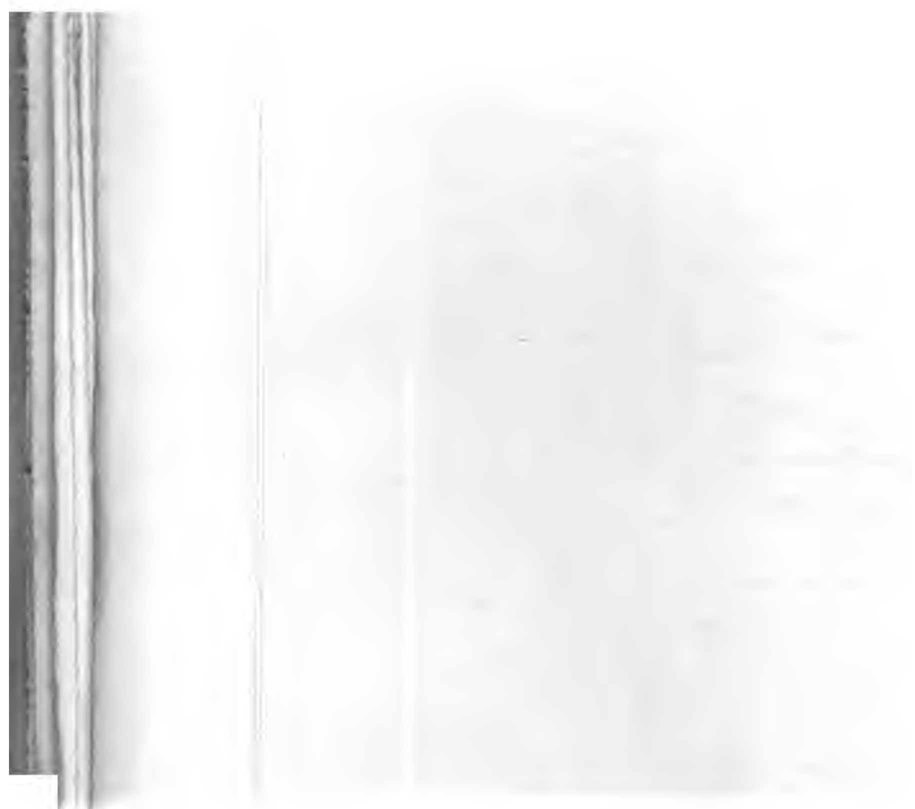
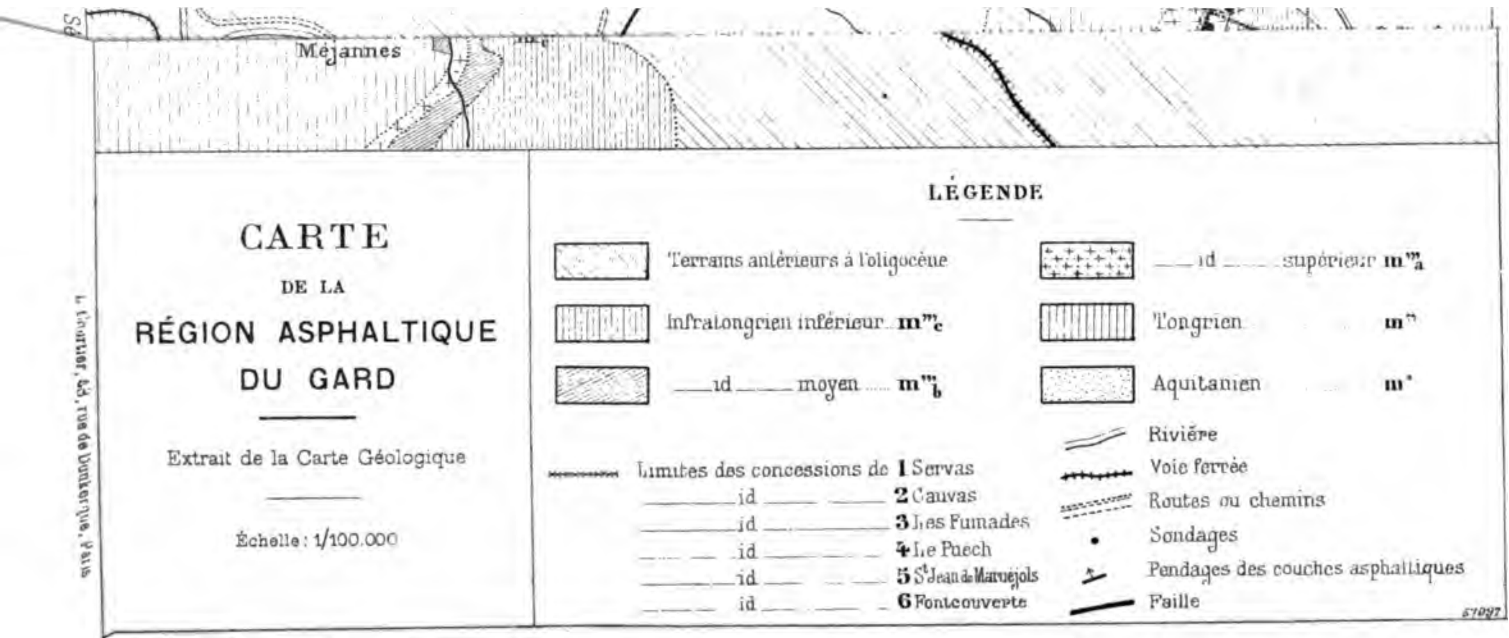


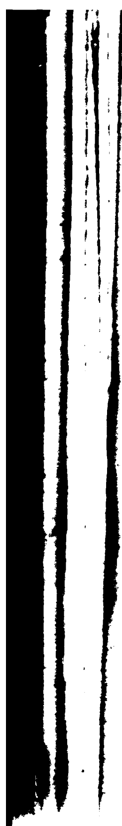
Fig. 5 ter.





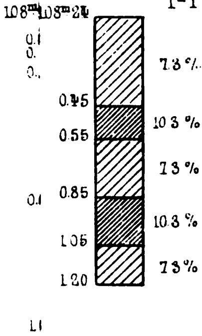



Méjannes
CARTE
DE LA
RÉGION ASPHALTIQUE
DU GARD
Extrait de la Carte Géologique
Échelle : 1/100.000
LÉGENDE
Terrains antérieurs à l'oligocène
Infratongrien inférieur m'''_c
id moyen m'''_b
id supérieur m'''_a
Tongrien m''
Aquitanien m'
Limites des concessions de 1 Servas
id 2 Cauvas
id 3 Les Fumades
id 4 Le Puech
id 5 St Jean de Maruéjols
id 6 Fontcouverte
Rivière
Voie ferrée
Routes ou chemins
Sondages
Pendages des couches asphaltiques
Faille
57097
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

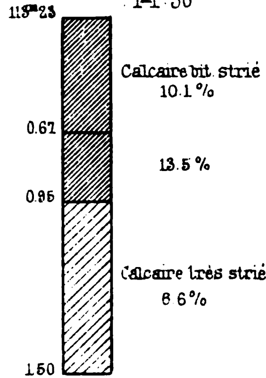


Coupes du sondage N° 8

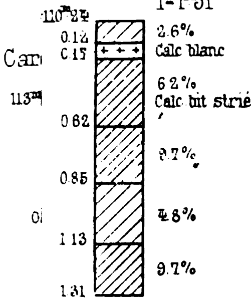
Carotte N° IV 1-2m00
1-1m20



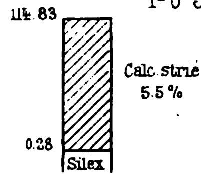
Carotte N° VII 1-1m60
1-1m50



Carotte N° V 1-1m44
1-1m31



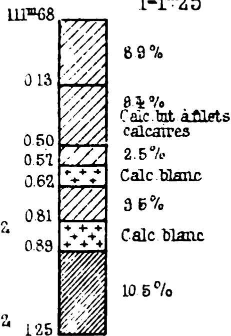
Carotte N° VIII 1-0m33
1-0m32



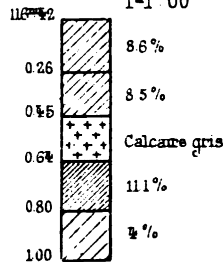
Carotte N° IX 1-0m30
1-0m08



Carotte N° VI 1-1m55
1-1m25



Carotte N° X 1-1m50
1-1m00

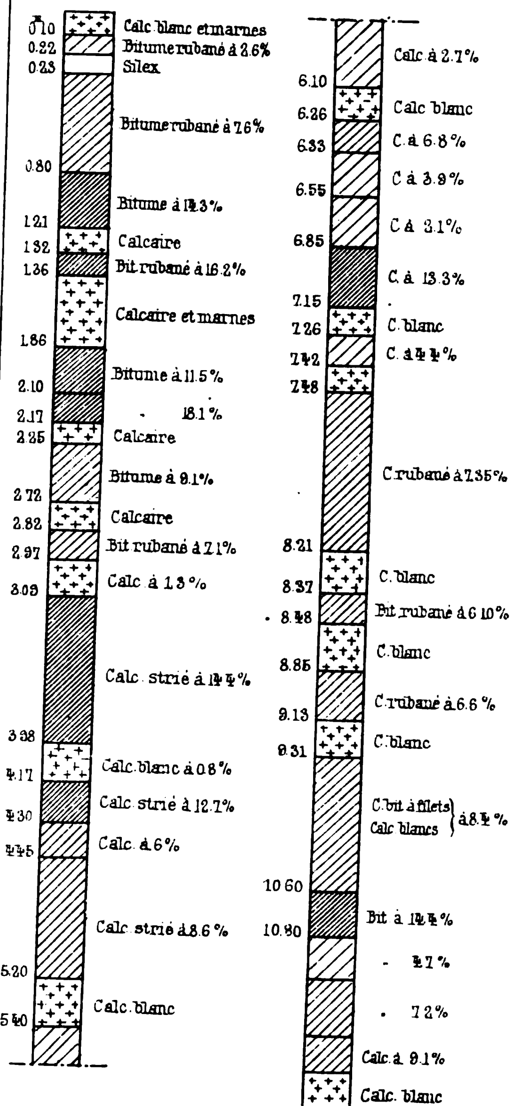


L. Courtier, 48, rue de Dunkerque, Paris



Coupes du puits intérieur du Centre

1m00
0m27
. à 10.6%
-1m00
-0m12
pris à 5.9%
aune à 11.6%
·1m00
·0m41
. 9 2%
rasées à 15.1%
12 1%



57701

L. Courtier, 48, rue de Dunkerque, Paris

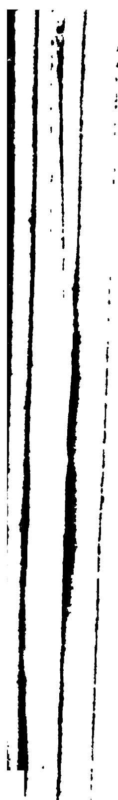


Fig. 10 à 16. Accident du 1er Janvier 1905 à Genlis.

Fig. 10. Coupe longitudinale

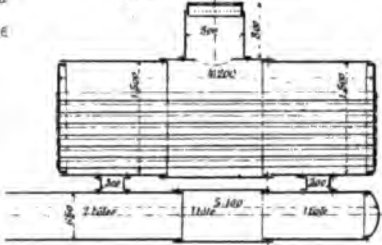


Fig. 11. Coupe transversale

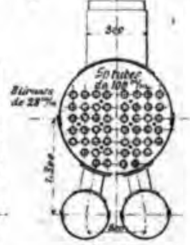


Fig. 12
Plaque de garde fixée sur la plaque tubulaire arrière

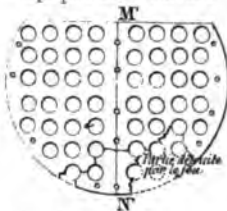


Fig. 13
Coupe M'N'



Fig. 14
Profil indiquant la déformation de la plaque tubulaire arrière

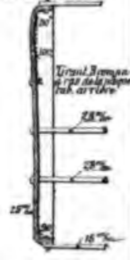
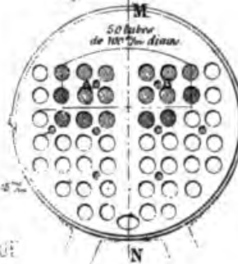


Fig. 15 et 16. Croquis de la plaque tubulaire Avant *(après l'explosion)*

Fig. 15. Vue de face.



Nota: *Les tubes hachurés sont ceux qui sont complètement sortis de la plaque tubulaire. Ceux hachurés ne sont déplacés mais reposaient encore sur la plaque.*
Tirants

Fig. 16. Coupe suivant MN.



Fig. 29. Coupe transversale par EF

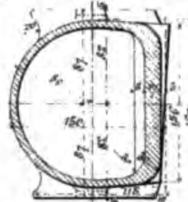
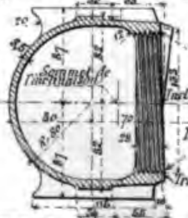


Fig. 30. Coupe transversale par GH.



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Fig. 14. Après l'explosion
(Vue en dessous)

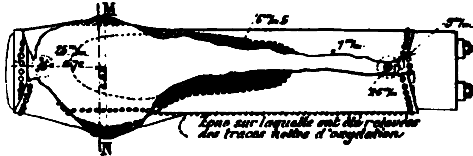


Fig. 15. Avant l'explosion
(Vue en dessus)

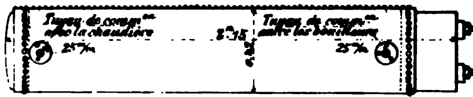


Fig. 16 à 22. Accident du 19 Septembre 1905.

16. Vue d'ensemble
...pe longitudinale

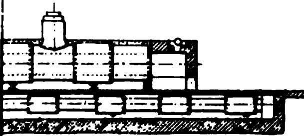
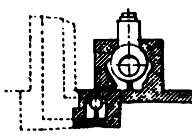
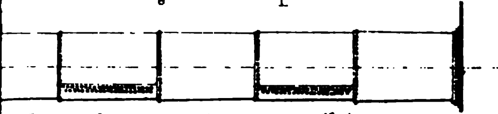


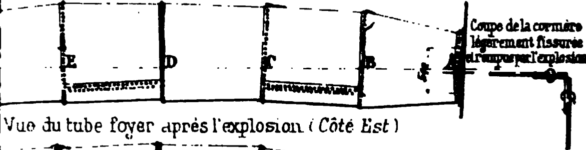
Fig. 17
Coupe transversale



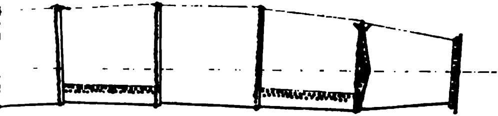
18. Vue du tube foyer avant l'explosion



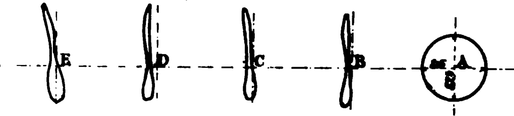
...e du tube foyer après l'explosion (*Côté Ouest*)



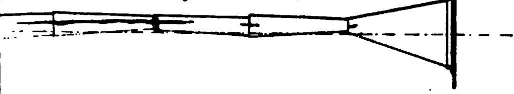
Vue du tube foyer après l'explosion (*Côté Est*)



21. Sections du tube foyer après l'explosion



...**22.** Plan du tube-foyer après l'explosion



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



ion
n

Fig. 14. Après l'explosion
(Vue en dessous)

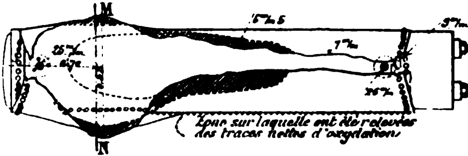
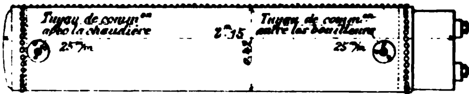


Fig. 15. Avant l'explosion
(Vue en dessus)

semble



905.

Fig. 16 à 22. Accident du 19 Septembre 1905

16. Vue d'ensemble
upe longitudinale

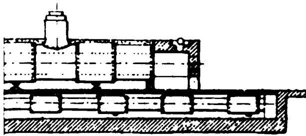
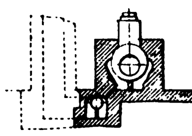
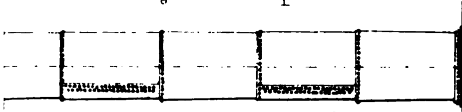


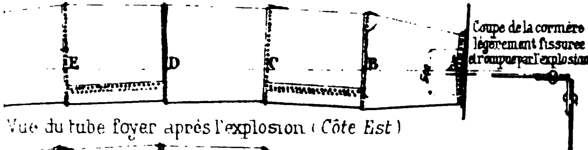
Fig. 17
Coupe transversale



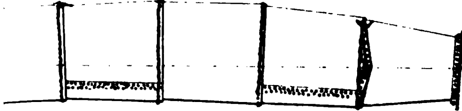
18. Vue du tube foyer avant l'explosion.



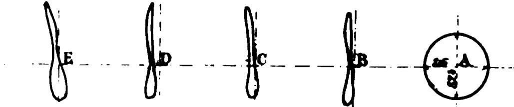
ue du tube foyer après l'explosion. (*Côté Ouest*)



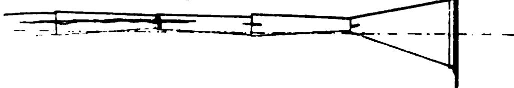
Vue du tube foyer après l'explosion (*Côté Est*)



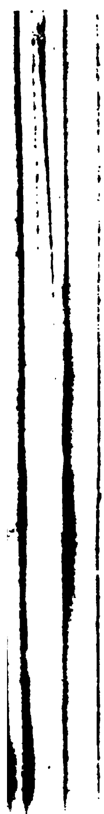
21. Sections du tube foyer après l'explosion.



. 22. Plan du tube foyer après l'explosion.



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



nbre 1905

Fig. 28.

...pe transversale suivant **EF**

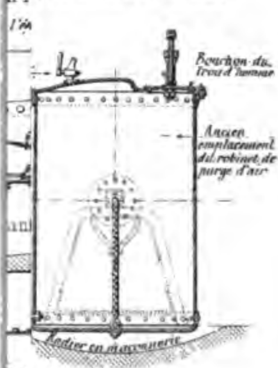


Fig. 29 à 32.

...dent du 27 Novembre 1905

...2. Détails du couvre-joint

...31. Coupe suivᵗ **AB**.

...g. 32. Plan.



...Coupe longitudinale.

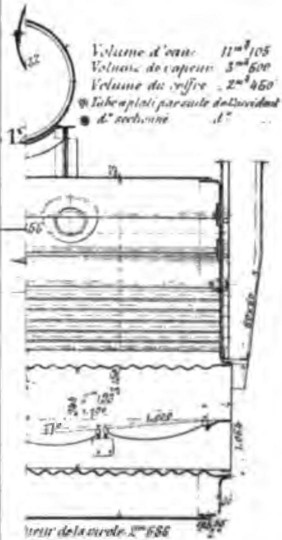


Fig. 33 et 34. Accident du 1ᵉʳ Décembre 1905.

Fig. 33. Coupe verticale.

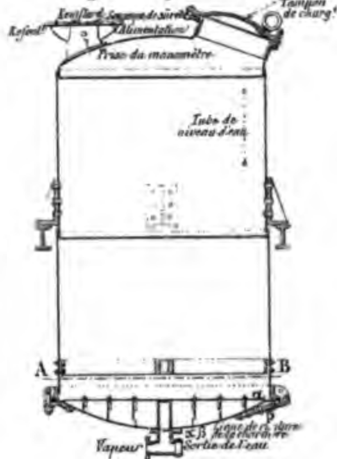


Fig. 34. Coupe suivᵗ **AB**.



Fig. 30. Coupe transversale

